خصوبة التربة

SOIL FERTILITY

تأليف

الأستاذ الدكتور نور الدين شوقي علي

الأستاذ الدكتور حمد الله سليمان راهي

الأستاذ الدكتور عبد الوهاب عبد الرزاق شاكر

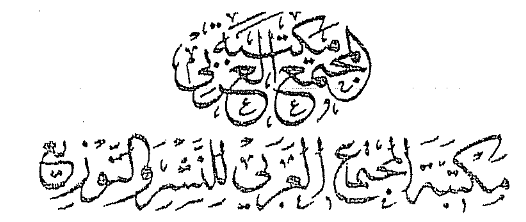
قسم علوم التربة والموارد المائية

كلية الزراعة - جامعة بغداد

الطبعة الأولى

2014م — 1435هـ





رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2013/3/817)

613.42

علي، نور الدين شوقي

خصوبة التربة/نور الدين شوقي علي، حمدالله سليمان راهي، عبد الوهاب عبد الرزاق شاكر.- عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، 2013

( ) ص

ر.أ. : 2013/3/817

الواصفات: /خصوبة التربة//أستعمال الأسمدة/

- يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى.

الطبعة العربية الأولى

2014م – 1435هـ



عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن
عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة – مجمع زهدي حصوة التجاري
www: muj-arabi-pub.com
Email: Moj_pub@hotmail.com

دار الكتب العلمية للطباعة والنشر والتوزيع
بغداد – شارع المتنبي – هـ: ٤١٦٧٥٨٦ – ٤١٥١٢٣٥
E-mail:darktbalmya@yahoo.com
E-mail:darkotobalmya@gmail.com

ISBN 978-9957-83-256-8 (ردمك)

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الفصل الحادي عشر

الملاحق

٤ ب

الفصل الأول

خصوبة التربة، العناصر المغذية، الأسمدة

٤ب / خصوبة التربة
26/2/3A
رقم المادة ([redacted])

التعاريف:-

➢ **إنتاجية التربة "Soil productivity":**

قابلية التربة على انتاج محصول معين او تتابع محاصيل مختلفة في ظروف بيئية معينة وتحت ادارة معينة، وللحصول على طاقة الانتاج القصوى للمحصول المعين فأنه يتطلب توافر عوامل الانتاج المختلفة الوراثية والبيئية وعوامل التربة، او بتعبير اخر عند توافر عوامل الانتاج كلها بشكل مثالي، والتي من بينها عوامل التربة التي سيتم التركيز عليها في هذا الكتاب والتي تؤثر في الانتاجية ولاسيما خصوبة التربة.

➢ **خصوبة التربة "Soil Fertility":**

قابلية التربة على امداد النبات بالمغذيات الضرورية او الاساسية بكميات كافية ومتوازنة تلبي احتياجات النبات للوصول الى اقصى حاصل ضمن ظروف التربة والمحصول.

➢ **العامل المحدد "The limiting factor":**

بشكل عام يتحدد نمو وحاصل اي نبات بعددٍ من العوامل البيئية والوراثية ولكل من هذه العوامل تأثير منفرد او مشترك مع العوامل الاخرى هناك عوامل يمكن السيطرة عليها ومنها خصوبة التربة من خلال ادارة المخصبات العضوية او المعدنية او المغذيات بشكلٍ عام وتحسين الظروف الفيزيائية والكيميائية في التربة التي تزيد من جاهزية هذه المغذيات وامتصاصها بوساطة جذور النباتات. ان وجود اي عامل بحالة او كمية اقل من الحالة المثالية يؤدي الى نقص في طاقة الانتاج

وهذا مايطلق عليه بمفهوم العامل المحدد limiting factor، ولن يستطيع النبات ان ينمو بشكل افضل الا بتغير وتحسن هذا العامل المحدد. وهناك تمثيل للعامل المحدد على انه يشبه سلسلة بها حلقات وقوة السلسلة تتمثل بالحلقة الاضعف بين الحلقات. او يمكن تمثيله بخزان الماء الذي يتحدد حجم خزنه للماء بسلامة جوانب الخزان. وعند حدوث اي تسرب من احد الجهات فان حجم الخزن يتحدد بموقع التسرب وحجمه.ولهذا فإن النمو يتحدد بتأثير اي عامل او مغذي موجود بشكل غير مثالي حتى لو توافرت الظروف والعوامل الاخرى بشكلٍ مثالي.

ازداد الاهتمام في السنوات الاخيرة بموضوع تلوث البيئة واصبح من الضروري التركيز على استعمال المخصبات والمغذيات ذات الجدوى الإقتصادية العالية والتي تمتلك اقل تأثير سلبي في البيئةالتي تحسن الانتاجية مع المحافظة على بيئة سليمة، ولذلك فهناك فأن هناك حالياً اتجاه على المستوى العالمي لتحسين الانتاجية من خلال استنباط الاصناف عالية الانتاجية والكفوءة في امتصاص المغذيات واستعمال الاسمدة الحيوية Bio-fertilizers واستخدام الدورات الزراعية التي تحوي على البقوليات والادارة السليمة للمياه والتربة والمحصول من اجل الحصول على اقصى انتاج وبأقل ضرر على البيئة، وهو ما يعرف بعمليات الادارة المثلى Best Management Practices (BMP) او الزراعة المحكمة او الدقيقة Precise Agriculture (علي وآخرون، 2010).

- مغذي النبات Plant Nutrient: عنصر كيميائي أساسي لنمو النبات وتكاثره وهناك مغذيات تعد اساسية واخرى مفيدة.
- المغذي الأساسي أو الضروري Essential nutrient:

بشكل شائع، إن أي عنصر لكي يطلق عليه مغذي نبات اساسي يجب إن تنطبق عليه مواصفات معينة. المواصفة الرئيسية هو إن يكون المغذي مطلوب للنبات لإكمال دورة حياته والمواصفة الثانية هي انه لايمكن تعويض هذا المغذي بشكل كامل بأي مغذي اخر. والمواصفة الثالثة إن كل النباتات تحتاج هذا المغذي. ومع

هذا، كل العناصر التي عدت مغذيات نبات لا تفي بشكل كامل بكل هذه المتطلبات. ولذلك هناك نوع من النقاش والحوار لما له علاقة بالمواصفات القياسية لتصنيف أي عنصر كي يصبح عنصر مغذٍ للنبات.

المواصفة الأولى التي تدور حول العنصر الضروري وعلاقته بإكمال دورة الحياة، هي المواصفة التاريخية التي بموجبها تأسست الضرورية أو الأساسية. إن هذه المواصفة تتضمن الصفة أو الخاصية أن المغذي له تأثير مباشر في نمو النبات والتكاثر. في غياب العنصر الأساسي أو بالنقص الشديد، فان النبات ستظهر عليه علامات واعراض اضطراب النمو ثم تتطور حسب شدة النقص ومن ثم الموت قبل إكمال دورة حياته من البذور إلى البذور. هذه المتطلبة تؤكد وتعترف بان المغذي له دور في بناء النبات، وانه مع التجهيز القليل أو الناقص فان نمو غير طبيعي أو علامات نقص ستتطور نتيجة لعدم انتظام البناء، وان النبات من المحتمل ان تكون له القابلية على إكمال دورة حياته مع نمو محدد ومظهر غير طبيعي. هذه الصفة أيضاً تشير إلى إن وجود المغذي في النبات ليس دليلاً على كونه ضروري، اذ ان النبات يجمع بعض العناصر الموجودة في المحلول بدون وجود أي دور أساسي في بناء النبات أو الفسلجة. المواصفة الثانية تشير إلى إن دور المغذي يجب أن يكون متميز وفريد في بناء النبات أو فسلجته، بمعنى انه لا يمكن لمغذي آخر تعويضه بشكل كامل للقيام بهذا الدور.التعويض الجزئي يحتمل حدوثه ولكن ليس بشكل كامل. مثال على ذلك فان تعويض المنغنيز عن المغنيسيوم في التفاعلات الإنزيمية يمكن الحدوث، ولكن لا يوجد مغذي آخر يمكن أن يعوض دور المغنيسيوم كمكون أساسي للكلوروفيل، ومع هذا يعتقد بعض الباحثين إن هذه المواصفة ضمنت في المواصفة الأولى. ومثال آخر التعويض الجزئي للصوديوم عن بعض وظائف البوتاسيوم. المواصفة الثالثة تتطلب إن الأساسية يجب أن تكون لكافة النباتات أو شاملة بين النباتات. هناك عناصر يمكن أن تؤثر في نمو النبات بدون أن تكون أساسية. تشجيع النمو ليس خاصية معرَّفة لمغذي النبات، لأنه ومع كون النمو يتم تحفيزه بهذا العنصر فان العنصر غير مطلوب بشكل مطلق للنبات لإكمال دورة حياته ومثال

على ذلك استجابة بعض النباتات لعنصر الصوديوم. كذلك، هناك عناصر تبدو مطلوبة من قبل بعض النباتات لأن العنصر له دور في العمليات البنائية في النبات، كما هي الحالة في دور الكوبلت المطلوب في النباتات المثبتة للنتروجين. ومع هذا، التثبيت النتروجيني ليس شيء حيوي لدرجة الهلاك vital لهذه النباتات لأنها ممكن أن تنمو بشكل جيد على التجهيز المعدني (غير العضوي) للنتروجين. هذا فضلاً عن إن النباتات التي لا تثبت النتروجين ليس لها متطلبات معروفة للكوبلت، ومع هذا يتزايد الاهتمام بالكوبلت وهناك اشارات الى اهمية هذا العنصر لنباتات من غير العائلة البقولية لاسيما بعض النباتات الطبية والعطرية والتي وجد فيها علاقة بين تجمع القلويدات Alkaloids والكوبلت (محمد 2011). العناصر التي لها دور في تشجيع النمو أو لها دور في بعض النباتات وليس كل النباتات يطلق عليها بالعناصر المفيدة Beneficial elements.

المغذيات الاساسية اوالضرورية (Essential nutrients):

تتوافر في بيئة النبات (التربة) اعداد كبيرة من العناصر الا ان الذي ثبت منها بأنه ضروري للنباتات الراقية ولا تستطيع هذه النباتات اكمال دورة حياتها او النمو بشكل جيد الا بوجودها والتي لا يمكن أن تعوض بمغذيات اخرى، هي 17 مغذياً والقائمة قابلة للزيادة بتوافر الاجهزة والتقانات الحديثة على مستوى النانو او حتى ادق. تقسم هذه المغذيات بناءً على حاجة النباتات منها وتراكيزها في المادة الجافة للنبات او الكمية التي تضاف فيها الى التربة او رشها على النباتات الى:

- **المغذيات الكبرى Macronutrients:**

المغذيات التي تستهلك وتتواجد في انسجة النبات بكمياتٍ تتراوح بين 0.2٪ الى 4.0٪ (على اساس الوزن الجاف)، وتشمل كلاً من C وH وO وN وP وK وCa وMg وS.

➢ المغذيات الصغرى Micronutrients:

المغذيات التي تستهلك بكمياتٍ اقل بالقياس الى المغذيات الكبرى وتتواجد في انسجة النبات بكمياتٍ تقاس بالجزء بالمليون(ملغم كغم$^{-1}$) وبالمدى 5 الى 200 جزء بالمليون او اقل من 0.02٪ على اساس الوزن الجاف. وتشمل Fe وMn وZn وB و Cu وCl وMo وNi.

- العناصر المفيدة Beneficial elements: وهذه العناصر تكون مغذيات مهمة لبعض النباتات وليس لجميعها مثل Na وSi وCo.

إن معظم المغذيات والعناصر اعلاه مصدرها الرئيس التربة، فضلاً عن الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين الذي تتوفر في المياه والهواء الجوي وفي هواء التربة وذائبة بالماء.

وعموماً فإن النباتات بشكلٍ عام تتكون من جزئين اساسين هما الماء والمادة الجافة. نسب الماء في النبات تختلف حسب جزء النبات وعمر النبات الا انه يشكل مانسبته 75٪. اما المادة الجافة dry matter التي تبقى بعد تجفيف النبات فهي تتكون من عناصر الكاربون والهيدروجين والأوكسجين والتي تشكل نسبة بحدود 92٪ من المادة الجافة والعناصر الاخرى التي تمثل رماد النبات (الجزء الذي يتبقى بعد حرق النباتات) فتشكل 8٪ ومن بينها العاصر المغذية او مغذيات النبات. تتحد هذه العناصر باشكال مختلفة لتكون مكونات النبات المختلفة (Brady, 1974). المركبات أو الجزيئات العضوية المهمة بايولوجياً في النبات تتضمن البروتينات والأحماض النووية والبيورينات والبيرميدينات وتميمات الإنزيمات Coenzymes (مرافقات الانزيمات) (الكوانزيمات) و(الفيتامينات) ومركبات أخرى.

إنه من الصعب تحديد التاريخ الدقيق والباحث الذي اكتشف الضرورية لكل مغذي. وبشكل عام ولكافة المغذيات كان هناك بحث دقيق لمدة طويلة قبل إن يتم وضع اي منها ضمن قائمة المغذيات الضرورية لنمو النبات. ولقد ساهم عدداً من

الباحثين في اكتشاف الضرورية للعنصر في تغذية النبات. وركزت معظم البحوث القديمة على التأثيرات المفيدة وأحياناً التأثيرات السمية للعناصر. وبشكلٍ عام تم قبول هذه العناصر كمغذيات بعد عدد من الإثباتات للنمو والتكاثر والجدول 1.1 الاتي يبين الوقت الذي تم فيه اكتشاف هذه الضرورة للمغذي المعين، علما ان الاضافات الى القائمة كانت تدريجية وتطورت مع تطور العلوم ودقة التحاليل والتجارب في مجال تغذية النبات كما اشير الى ذلك آنفاً، وقد تثبت الابحاث والتطورات التكنولوجية الى إضافة عناصر جديدة الى هذه القائمة.

جدول (1.1) العناصر وتواريخ قبولها كمغذيات ضرورية:

العنصر	تاريخ اعتباره ضروري
النتروجين	1804
الفسفور	1839
البوتاسيوم	1866
الكالسيوم	1862
المغنيسيوم	1875
الكبريت	1866
الحديد	1843
المنغنيز	1922
النحاس	1925
البورون	1926
الزنك	1826
المولبدنم	1939
الكلوريد	1954
النيكل	1987

العناصر المطلوبة بكميات معتبرة (مغذيات كبرى)، عموماً تتجمع إلى 0.1٪ صعوداً من الكتلة أو الوزن الجاف من أنسجة النبات ظهرت وبينت بأنها مغذيات في أواسط 1800. معظم العناصر المطلوبة بكميات صغيرة في النباتات (العناصر المغذية أو المغذيات الصغرى)، عموماً تتجمع بكميات اقل من 0.01٪ من المادة الجافة للنسيج النباتي، ظهرت بأنها أساسية وضرورية فقط بعد تحسن التقنيات لتؤكد إن الماء والمحاليل والوسط والهواء الجوي والبذور لا تحتوي كميات كافية من المغذيات لملاقات أو الوفاء بمتطلبات النباتات. وعموماً فيما عدا الحديد، فان ضرورية المغذيات الصغرى توضحت أو ظهرت في 1900.

العناصر المفيدة يمكن أن تحفز النمو أو من المحتمل أن تكون مطلوبة من قبل بعض النباتات. السليكون والكوبلت والصوديوم من العناصر المعروفة بأنها مفيدة. السلينيوم والألمنيوم والفاناديوم وعناصر أخرى اقترح بأنها تشجع نمو النباتات. بعض العناصر المفيدة من المحتمل، تصنف بالمستقبل ضرورية مع تطور التحاليل الكيميائية والطرائق التي تقلل من التلوث خلال النمو من خلال التأكد من إن النبات سوف لا يكمل دورة حياته إذا كانت تراكيز هذه العناصر في النسيج النباتي مزالة أو معدومة بشكل كامل. النيكل مثال على العناصر التي كان عنصراً مفيداً ولكنه حديثاً أصبح مغذي ضروري وأساسي.

◁ المغذيات في التربة:

توجد المغذيات في التربة على عدة اشكال قسم منها جاهز للامتصاص بوساطة جذور النبات والتي يشمل الاشكال الذائبة في محلول التربة Soluble والمتبادلة Exchanged على الاسطح الغروية او الممتزة على اسطح التربة المختلفة وقسم منها بطئ الجاهزية او صعب الجاهزية او حتى غير جاهز او يحتاج الى عمليات معينة كي يتحول من شكل غيرجاهز الى شكل جاهز.

الرايزوسفير (المحيط الجذري) لنظام التربة النبات

:THE RHIZOSPHERE OF THE SOIL–PLANT SYSTEM

الرايزوسفير او المحيط الجذري Rhizosphere هو عبارة عن المنطقة الملاصقة للجذر والتي لاتتجاوز البعض من الملمترات مع كل ماتحتويه من تربة واحياء مجهرية وافرازات وهي المنطقة التي تحدث بها معظم العمليات الحيوية المؤثرة بشكل مباشر في الجذر والاحياء ومن ثم في نمو النبات. اذ ان الجذور تفرز العديد من المواد ذات الاهمية الكبيرة للنبات والاحياء. كمية وانواع الموادالاساس substrates في هذه المنطقة تختلف عن التي في التربة البعيدة عن الجذور Bulk soil وتتجمع فيها مستعمرات لمختلف الانواع من البكتريا والفطريات. العامل الفيزيوكيميائي لهذه المنطقة هو الاخر مختلف لاسيما درجة التفاعل pH والرطوبة Moisture وحالة المغذيات Nutrient status والايصالية الكهربائية EC وجهد الاكسدة والاختزال pE (E^H).

المؤسسة التي تتكون بين الجذور والاحياء يمكن ان تكون مفيده للنباتات (امتصاص الماء وثباتية التربة وتشجيع النمو وتثبيت النتروجين الجوي والسيطرة الحيوية) واحياناً بعض التأثيرات المضرة كالإصابة والسمية. هذه التأثيرات تعتمد على ظروف التربة ومن ثم فهي متغايرة.

حركة المغذيات في التربة باتجاه الجذور والامتصاص بوساطة الجذور:

هناك عدد من الآليات التي بوساطتها يتحرك الايون المغذي من مكان الى اخر في التربة ومن التربة الى سطوح الجذور وهي:

- الجريان الكتلي Mass flow: وهي حركة الايونات مع جريان الماء وهذا يشمل حركة الايونات المتحركة في التربة مثل النتروجين ولاسيما النترات

(بنسبة 99٪) وجزء من البوتاسيوم (بحدود 20٪) و6٪ فقط للفسفور في نبات الذرة الصفراء مثلاً.

- الانتشار Diffusion: ويشمل حركة الايونات من منطقة التركيز العالي الى منطقة التركيز الاقل وهذا وتشكل النسبة الكبرى في انتقال الفسفور (94٪) والبوتاسيوم(78٪) اي تشمل حركة المغذيات ذات الحركة الاقل.
- اعتراض الجذور Root interception: ويتم هذا من خلال نمو الجذور واعتراضها لاجزاء التربة واخذ الايونات مباشرة من سطوح التبادل ومن محلول التربة وتكون ذات اهمية في تجهيز الكالسيوم والمغنيسيوم والمغذيات الصغرى.

ومما تجدر الاشارة اليه فانه لكافة الاليات آنفة الذكر فان الماء ضروري لها ولذلك فمن الاهمية تواجد الماء بشكل مثالي وكاف للنباتات ومن هنا تكمن اهمية ادارة المياه. ان إمتصاص ايونات العناصر المغذية بوساطة الجذور وانتقالها الى الاجزاء العليا فيتم من خلال:

- التبادل بالتماس(contact exchange): التبادل بين ايونات معينة على الجذور ومع الايونات التبادلية او الذائبة في التربة.
- الامتصاص الحر او السلبي (passive absorption): ويتم مع انحدار التركيز ولا يحتاج الى طاقة ويحدث بشكل رئيس في الفراغ الحر للجذر(free space) وغير اختياري وتعاكسي.
- الامتصاص الحيوي او النشط (Active absorption): وهذا يحدث ضد انحدار التركيز(Against concentration gradient) ويحتاج الى طاقة ويحدث بوجود نواقل معينة ويستخدم الـ ATP مصدراً للطاقة وهو امتصاص اختياري وغير متعاكس.

دور المغذيات وأهميتها للنبات:

سيتم هنا فقط الاشارة الى بعض الامور الاساسية والبسيطة ويمكن الرجوع الى كتب تغذية النبات (تراجع قائمة المراجع) لغرض التوسع في الموضوع. وبشكل عام يكون دور المغذيات اما من خلال:

- كونها جزءاً من تركيب النبات: اي تدخل في بناء هيكل النبات وتركيبه مثل الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين والكبريت والتي تدخل في الاحماض الامينية والتي تعد الوحدات الاساسية للبروتين والمغنيسيوم الذي يدخل في تكوين الكلوروفيل... الخ.
- تدخل في اجزاء الطاقة وكما هو الحال بالنسبة للفسفور ودخوله في الـ ATP.
- في موازنة الضغط الازموزي وعمليات الاكسدة والاختزال وتنظيم درجة الحموضة مثل المغنيسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم والكلوريد.
- دور مهم في تنشيط الانزيمات كماهو الحال بالنسبة للبوتاسيوم.
- العناصر المغذية الصغرى لها ادوار من خلال تأثيرها في نشاط الانزيمات وعمل منظمات النموالنباتية أوتثبيت النتروجين الجوي والكلوروفيل او عملية التمثيل الضوئي والتنفس.

مفهوم جاهزية المغذيات:؛ Nutrients Availability Concept

يكون المغذي جاهزاً للنبات من الناحية الكيميائية اذ توفر بشكل يكون قابلاً للامتصاص من قبل النبات اي عند تواجده بشكل ذائب او متبادل وهذا يطلق عليه بالجاهز الكيميائي. اما من حيث الموقع فيكون جاهزاً اذا كان بمسافة تستطيع جذور النباتات الحصول عليها. اما الجاهز حيوياً Bioavailable او مايطلق عليه حديثاً phyto-available فيقصد به توافر المغذي بشكل جاهز كيميائياً ومكانياً وبكميات وبسرعة تتلاءم مع نمو النبات ويستطيع النبات اخذه باستمرار ويمتص فعلاً من قبل النبات.

➢ الأسمدة Fertilizers (Fertilisers):

الاسمدة: مواد طبيعية (عضوية أو غير عضوية) او مصنعة تضاف الى التربة او مباشرةَ الى النبات من اجل تجهيز النبات بعنصر واحد أو أكثر من المغذيات الضرورية لنموه.

ان فلسفة الإضافة تختلف، فالإضافة إما لزيادة خصوبة التربة او لتعويض نقص المغذيات الجاهزة للإمتصاص بوساطة جذور النباتات او للمحافظة على المستوى الموجود أصلا أو لكي يكون هناك إتزان جيد بين المغذيات المختلفة لاسيما الكبرى.

➢ اتجاهات البحث العلمي:-

البحث في خصوبة التربة وتغذية النبات عبارة عن برنامج مستمر. تطوير أصناف جديدة للمحاصيل وتقديم عمليات إدارة حديثة لأجل زيادة الإنتاجية او تحسين النوعية، أدت إلى تغيرات في المتطلبات التغذوية للمحاصيل. التطبيقات المتزايدة في مجال الجينات والهندسة الوراثية تجهز فهم أكثر للأسس الجينية للاختلافات في الكفاءات التي تستطيع بوساطتها النباتات امتصاص المغذيات واستعمالاتها. نفذت البحوث وستستمر بانجازها للتأكد من إن فحص التربة يرتبط مع استعمال المغذيات بوساطة جذور النباتات والتوصية السمادية.

هناك تطور في استعمال النبات لتنظيف الأراضي الملوثة بالمعادن phytoremediation وهذا خاص بالنباتات المراكمة لهذه العناصر. الاستخلاص الحيوي هي تقنية معتمدة على النبات لإزالة العناصر المعدنية من المواقع الملوثة من خلال استعمال النباتات المجمعة للمعادن او النباتات الملحية وقسم كبير منها من الحشائش ونباتات المراعي لذا يجب الحذر من استخدامها للرعي او لتغذية الحيوان الا بعد التأكد منها. تعطي البحوث اهتمام حول تجمع العناصر المفيدة للنبات والحيوان وتغذية الإنسان.

وفي الاونة الاخيرة تم التركيز على مفهوم الزراعة الدقيقة précised Agriculture والادارة المثلى للأسمدة التي تأخذ التغاير المكاني والزماني بنظر الاعتبار عبر الحقل لتنظيم إضافة الأسمدة والمدخلات الأولى على أساس مواصفات الموقع المعين site specific وليس الحقل ككل. الزراعة الدقيقة تطبق تقنيات (Global positioning system)" GPS" نظام تحديد الموقع العالمي ونظام المعلومات الجغرافي Geographic Information system" GIS" والاستشعار عن بعد RS"Remotesensing " وهذه التقانات تسمح بأخذ قرارات حول إدارة المحصول – الإنتاج – العوامل الحيوية المحددة والعوامل الحيوية وتداخلاتها على أساس موقعي وليس على أساس الحقل ككل. الاستشعار عن بعد مصطلح يستعمل أو يطبق على البحوث التي تقيم خصوبة التربة واستجابة النبات خلال طرائق غير اخذ العينات من التربة والتحليل. استعملت البحوث وطبقت تحليل الصور الفيديوية لمراقبة نمو النبات لتقييم خصوبة الترب والإدارة، والانعكاسية والمعلومات الرقمية للصور الجوية أيضاً بحثت لتقييم خصوبة التربة. وفي الزراعة الدقيقة يمكن لناشرة السماد (جهاز لنثر السماد ويربط بالساحبة) أن يتبرمج بسرعات مختلفة اعتماداً على بيانات لنمو المحصول أخذت وخزنت في نظام GIS. هذه البيانات يمكن أن يتم الحصول عليها بالاستشعار عن بعد أو بقياسات مستمرة في الحقل أو باستعمال معدات حصاد للعمل في نفس الحقل في السنوات السابقة. الموقع الدقيق لإضافة السماد في أي لحظة يراقب باستعمال (GPS).

المصادر:

- Brady, N.C. 1974.The Nature & Properties Of Soils. Macmillan.
- CSA News. 2011. Critical Issues facing humanity and how soil scientists can address them. Crop, Soils, Agronomy News 56(4):5-15
- Havlin, J.L. ; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. & Nelson, W. L. (2005)Soil fertility & Fertilizers "An Introduction to Nutrient Management"7th Ed. Prentice Hall. New Jersey.
- الن في باركر وديفد جي بيلبام. 2012. المرشد في تغذية النبات.ترجمة د.نورالدين شوقي علي.دار الكتب العلمية – تحت النشر
- علي، نورالدين شوقي وحياوي ويوه الجوذري واسماعيل خليل ابراهيم 2011.تأثير التكامل بالتسميد المعدني والحيوي – العضوي في نمو وانتاج البطاطا. منشور في مجلة جامعة كربلاء العلمية (عدد خاص)2011.
- محمد، ساجد عودة 2011 تأثير البوتاسيوم والمغذيات الصغرى والنتروجين ومنظمات النمو في نمو وانتاجية نباتات ست الحسن ومحتواها من القلويدات.اطروحة دكتوراه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.

الفصل الثاني

التربة وسطاً لمغذيات النبات



- التبادل ألايوني في الترب
- تبادل الايونات الموجبة
- التشبع القاعدي
- التبادل للايونات السالبة (التبادل الانيوني)
- السعة التنظيمية (السعة البفرية
- السعة التنظيمية للايونات الموجبة للجذور
- عوامل التربة المؤثرة في تحولات المغذيات

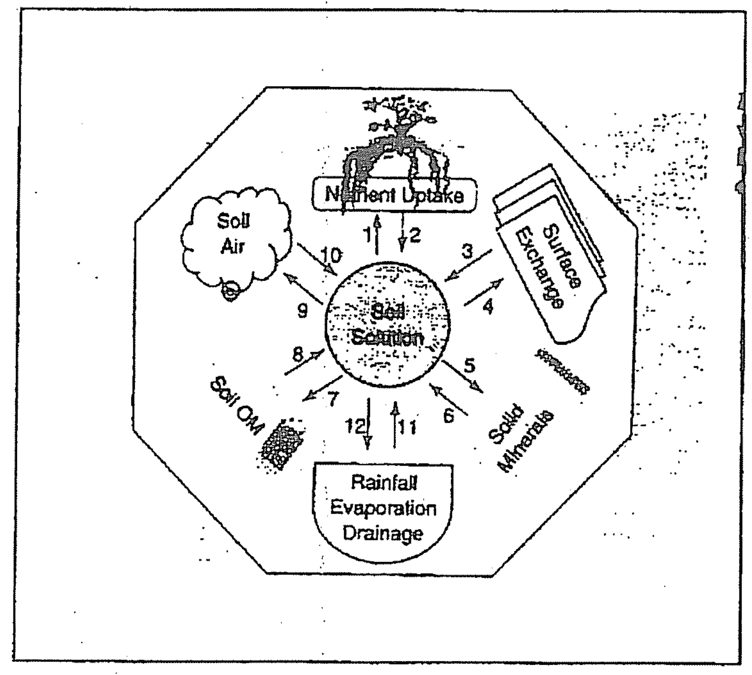


الفصل الثاني
التربة وسطاً لمغذيات النبات
The Soil as a plant nutrient medium

التربة عبارة عن وسط غير متجانس تحوي اطوار رئيسة ثلاث هي الصلب والسائل والغازي. وتؤثر هذه الاطوار في تجهيز جذور النبات بالمغذيات. الطور الصلب يمكن ان يعد الخزان الرئيس للمغذيات. تحوي الدقائق المعدنية في الطور الصلب مغذيات موجبة مثل البوتاسيوم والكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والحديد والزنك والكوبلت، بينما توفر الأجزاء العضوية في الجزء الصلب الاحتياطي الرئيس للنتروجين وبدرجةٍ اقل للفسفور والكبريت. الطور السائل "محلول التربة" مسؤل بشكل رئيس عن نقل المغذيات في التربة، كنقل المغذيات من الاجزاء المختلفة للتربة الى جذور النباتات. الايونات المنتقلة مع الطور السائل تكون بشكل ايوني ولكن الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكاربون تكون ذائبة بالماء ايضاً. الطور الغازي في التربة يساعد في تبادل الغازات التي يحدث بين الاعداد الكبيرة للأحياء الحية للتربة (جذور النباتات والبكتريا والطحالب والحيوانات) والهواء الجوي. هذه العملية تنتج عن تجهيز هذه الاحياء بالاوكسجين وازالة ثنائي اوكسيد الكاربون الناجم عن التنفس ونواتج الفعاليات الاخرى في ظروف الاكسدة والاختزال..

إن التداخلات بين الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية في التربة تسيطر على جاهزية المغذيات للنبات وإن فهماً جيداً لهذه التداخلات وكيفية تأثرها بالظروف البيئية خلال فصل النمو يساعد في إمكانية تنظيم جاهزية هذه المغذيات وانتاجية النبات.

الهدف من هذا الفصل هو مراجعة التفاعلات الكيميائية الاساسية في الترب وحركة الايونات في محلول التربة وامتصاص الايونات من قبل النبات. إن تجهيز العناصر المغذية الى جذور النبات تعد عملية ديناميكية (الشكل 2-1).



الشكل 2-1

مخطط لمختلف مكونات التربة التي تؤثر في تركيز مغذيات النبات في محلول التربة

مغذيات النبات الموجبة والسالبة تمتص بوساطة جذور النبات (nutrient uptake) من محلول التربة (soil solution) وتتحرر في الوقت نفسه كميات صغيرة من الايونات مثل الهيدروجين (H^+) والهيدروكسيل (OH^-) والبيكاربونات (HCO_3^-) الى محلول التربة (التفاعلات 1 و2 في المخطط (الشكل 2-1). عندما يمتص النبات المغذيات من المحلول فأن التركيز يتناقص مما يؤدي الى حدوث عدد من التفاعلات الكيميائية والحيوية لاعادة تنظيم التركيز في المحلول واعادة تجهيزه بالمغذيات. التفاعل المعين الذي يحدث يعتمد على الايون الموجب او السالب المعين. الايونات الموجودة في المحلول يمكن ان تدمص(امتزاز سطحي) على الاسطح المختلفة اوالتبادل على السطوح(surface exchange) ويمكن ان يحدث لها عكس امتزاز(تحرر) لاعادة التجهيز وتنظيم محلول التربة (التفاعلات 3 و4). تبادل الايونات التي تتم من خلال الامتصاص وعكسه هي عبارة عن تفاعلات كيميائية مهمة تؤثر في جاهزية المغذيات للنبات

تحوي التربة ايضاً معادن (minerals) اولية وثانوية مختلفة يمكن ان يذوب جزء منها لإعادة تجهيز محلول التربة (التفاعل 6). المغذيات المضافة

كاسمدة يمكن ان يبقى قسم منها في محلول التربة وقسم يمتز على الاسطح وقسم يترسب بشكل معادن صلبة (تفاعل 5).

عندما تقوم الاحياء المجهرية بتفكيك بقايا النبات فأنها يمكن ان تمتص بعض الايونات من محلول التربة الى انسجتها (تفاعل 7). عندما تموت هذه الاحياء المجهرية او الاحياء الاخرى تحدث عملية انطلاق عكسية للايونات الى محلول التربة (تفاعل 8). التفاعلات المايكروبية مهمة في جاهزية العديد من مغذيات للنبات كماهو الحال بالنسبة للصفات الاخرى ذات العلاقة بانتاجية التربة.

الفعالية المايكروبايولوجية (الحيوية) تعتمد على تجهيز مناسب للطاقة من الكاربون العضوي (مخلفات عضوية مختلفة) وجاهزية الايونات غير العضوية وعدد كبير من الظروف البيئية للتربة.

جذور النباتات واحياء التربة تستعمل الاوكسجين O_2 وتطلق ثنائي اوكسيد الكربون خلال الفعالية البنائية (التفاعلات 9 و10). نتيجة لذلك تركيز ثنائي اوكسيد الكاربون في هواء التربة قد يصل الى مئة مرة او اكثر عن المحيط الجوي (الهواء خارج التربة) لاسيما وان انتشار الغازات في الترب يتأثر ويتناقص بشكل كبير مع المحتوى الرطوبي للتربة وتؤثر مسامية التربة وتهويتها في هذا العامل.

عدد كبير من العوامل البيئية وفعاليات الانسان يمكن ان تؤثر في تركيز الايونات في محلول التربة وتتداخل مع العمليات المعدنية والحيوية في الترب (التفاعلات 11 و12). مثال ذلك اضافة السماد الفوسفاتي الى التربة يزيد من تركيز الاورثوفوسفيت $H_2PO_4^-$ في البداية في محلول التربة ومع الزمن يبدأ تركيز $H_2PO_4^-$ بالتناقص نتيجة لامتصاص النبات (تفاعل 1) والادمصاص على اسطح المعادن (تفاعل 4) والترسيب بشكل مركبات الفسفور (تفاعل 5).

كل هذه العوامل والتفاعلات مهمة في جاهزية المغذيات للنبات ومع هذا واعتماداً على نوع الايون الغذائي تكون بعض العمليات اهم من عملياتٍ اخرى. مثال ذلك، العمليات المايكروبايولوجية اكثر اهمية في جاهزية النتروجين N والكبريت S من تفاعلات التبادل على الاسطح، بينما العكس بالنسبة للكالسيوم Ca^{2+} والمغنيسيوم Mg^{2+} والبوتاسيوم K^{+}. هذه العمليات توصف بأنها عمليات كيموحيوية (كيميائية – حيوية) معقدة وسيتم تقديم وصف عام لها لما له علاقة بجاهزية الايونات الغذائية.

➢ التبادل الايوني في الترب: Ion Exchange in soils

التبادل للايونات الموجبة والسالبة في الترب يحدث على اسطح معادن الطين والمركبات المعدنية والمواد الدبالية Humic Substances والجذور.

التبادل الايوني على اسطح دقائق التربة المختلفة عملية متعاكسة تحدث بين الايونات الموجبة (الكاتيونات Cations) والايونات السالبة (الانيونات Anions) الممدصة على على الأسطح تحت ظروف معينة مع ايونات موجبة او سالبة ذائبة في محلول التربة. التبادل للايوبات الموجبة يعد اكثر اهمية لان السعة التبادلية للايونات الموجبة (السعة الكاتيونية،"CEC" Cation Exchange capacity) اكبر بكثير من السعة التبادلية للايونات السالبة ("AEC" Anion exchange capacity السعة الانيونية) واكثر انتشاراً في معظم الترب الزراعية.

عملية التبادل الايوني في الترب من العمليات المهمة والمؤثرة في جاهزية المغذيات ومسكها والحفاظ على خصوبتها في الترب ولذلك من المهم معرفة وفهم اصل شحنات السطوح لمعادن التربة والمادة العضوية ولاسيما المواد الدبالية.

تبادل الايونات الموجبة Cations Exchange:

المواد الصلبة في الترب تشكل حوالي 50٪ من الحجم ويشغل الحجم الباقي بفراغات مملوءة بالماء والهواء. الجزء الصلب يشمل على المعادن غير العضوية (المعدنية) والمواد العضوية في درجات مختلفة من التحلل decomposition والتدبل Humification. الجزء المعدني يتكون من الرمل sand والغرين (السلت Silt) والطينclay. الجزء الطيني يتكون بشكل رئيسي من معادن الالمنيوم – السليكات المتكونة من السليكا (Si) التتراهيدرا والالمنيوم (Al) الاوكتاهيدرا. تركيب السليكا تتراهيدرا عبارة عن ايون موجب للسليكون (Si^{4+}) مرتبط مع اربع ذرات اوكسجين سالبة (O^{2-}) مكونة مايسمى برباعي السطوح التتراهيدرا Tetrahedral. بينما الالمنيوم الاوكتاهيدرا يتكون من الالمنيوم الموجب (Al^{3+}) المرتبط مع ست ذرات من الاوكسجين والهيدروكسيل (OH^{-}) مكونة مايسمى بثماني السطوح الاوكتاهيدرا Octahedral. طبقات التتراهيدرا والاوكتاهيدرا ترتبط مع بعضها وتترتب بأشكال مختلفة مكونةً معادن الالمينوم – السليكات او المعادن الطينية المختلفة. معادن الطين تتواجد باشكال مختلفة 1:1 و1:2 و1:1:2

معدن الكاؤلينايت يمثل معادن 1:1 ويتكون من طبقة من السليكا تتراهيدرا وطبقة من الالومينا اوكتا هيدرا. أما معادن 1:2 فتتكون من طبقتين من السليكاتتراهيدرا بينها طبقة من الالومينا اوكتاهيدرا. ومن الامثلة على معادن 1:2 هي المايكا والمونتمورلونايت والفيرميكيولايت.الكلورايت عبارة عن معدن 1:1:2 وهو معدن يتكون من طبقة هيدروكسيد الالمنيوم بين او داخل الطبقات في الترب الحامضية او هيدروكسيد المغنيسيوم في الترب القاعدية هذا اضافة الى تركيب 1:2 المشار اليه آنفاً.

معادن الطين تظهر شحنات على السطح تكون سالبة في الترب ذات السعة التبادلية الموجبة (CEC) وتكون موجبة على الترب ذات سعة التبادل للايونات السالبة (AEC). المصدر الرئيس للشحنات السالبة تظهر من الاستبدال التناظري

او الاستبدال المتماثل او استبدال اما السليكون او الالمنيوم مع ايون ذو شحنة اقل. هـذا الاستبدال او التعويض يسمى الاستبدال التناظري Isomorphic substitution ويحدث بشكل رئيس وواسع في معادن 2:1مع استبدال قليل جداً في معادن 1:1 علماً ان الاستبدال التناظري يحدث اثناء تكون هذه المعادن ولا يتأثر بالظروف البيئية القائمة.

في معدن المايكا فأن استبدال الالمنيوم الثلاثي Al^{3+} محل ايون سليكون رباعي Si^{4+} ينتج عنه فائض شحنة سالبة واحدة. في معدن المونتموريلونايت استبدال الحديد الثنائي Fe^{2+} او المغنيسيوم Mg^{2+} محل الالمنيوم الثلاثي ايضاً ينتج عنه شحنة سالبة فائضة. موقع الاستبدال التناظري في الاوكتا او التتراهيدرا او كلاهما يؤثر بشكل خاص في معادن الطين ويضفي عليها صفات معينة لاسيما كمية الشحنات السالبة (−) وشحنة السطح او الـ CEC. مثال ذلك، الاستبدال التناظري في طبقة التتراهيدرا تضع الشحنات السالبة اقرب الى اسطح المعدن مقارنة بالاستبدال الذي يحدث في الاوكتاهيدرا.

الشحنة السطحية السالبة العالية المرتبطة مع الترتيب والشكل الهندسي الفريد لطبقة التتراهيدرا تسمح لايون البوتاسيوم الموجب لمعادلة الشحنة السالبة بين طبقات 2:1وهو مايطلق عليه بعملية تثبيت البوتاسيوم potassium fixation.

معدن المايكا يظهر مسافة اوطأ ويعد المعدن متهدم او منضغط على بعضه مع توفر كمية شحنات سالبة قليلة على السطح متوافرة لجذب الايونات الموجبة. ولذلك فان المايكا تمتلك CEC واطئة مقارنة بالمونتمورلونايت لان الاسطح الموجودة بين الطبقات غير معرضة للتفاعل. الشحنات السالبة المرتبطة بالاستبدال التناظري تتوزع بشكل متساوٍ على السطح للمعدن الطيني وتعد شحنات دائمية ولا تتأثر بدرجة تفاعل المحلول(Solution pH). كمية الشحنات السالبة (−) او الموجبة (+) الموجودة على حواف المعادن تعتمد على درجة تفاعل المحلول وهذه

الشحنات الموجودة على الحواف تسمى بالشحنات المعتمدة على الـ pH "pHdependant charges". عندما تكون درجة تفاعل (الـ pH) حامضي تشحن الحواف بالشحنات الموجبة لان ايونات الهيدروجين الفائضة ترتبط مع مجاميع (Al-OH)، ومع زيادة درجة التفاعل لمحلول التربة تتم معادلة ايونات الهيدروجين وتزداد نسبة الشحنات السالبة. زيادة درجة التفاعل الى اعلي من التعادل (اعلى من7) ينتج عنه إزاحة تامة لايونات الهيدروجين من Al-OH وSi-OH مما يزيد ويعظم من كمية الشحنات السالبة على الحواف. ومع هذا، 5-10٪ فقط من الشحنات السالبة على معادن 2:1 تكون معتمدة على الـ pH بينما حوالي 50٪ من الشحنات التي تتطور على معادن 1:1 تكون من النوع المعتمد على الـ pH.

مصدر اخر للشحنات المعتمدة على الـ pH يرتبط بالمادة العضوية للتربة. معظم الشحنات السالبة تنشأ من تفكك او انفصال ذرات الهيدروجين من المجاميع الوظيفية Functional groups المتواجدة على المواد العضوية المتدبلة مثل مجموعة حامض الكاربوكسيل $COOH^-$ والفينوليك OH^- والامينات NH_2^- لانه مع زيادة الـ pH معظم ايونات الهيدروجين تتعادل وتزداد الشحنات السالبة. كمية الشحنات الموجودة في وحدة الكتلة في المادة العضوية اضعاف ما موجود الكتلة نفسها من المواد المعدنية.

السعة التبادلية للايونات الموجبة (CEC) تمثل الكمية الكلية للشحنات السطحية السالبة على المعادن والمواد العضوية الجاهزة لجذب الايونات الموجبة من المحلول. ويعبر عن الـ CEC بالملي مكافىء لكل 100 غرام تربة جافة بالفرن (meq/100gsoil) في الوحدات القديمة. يستخدم المجتمع العلمي منذ الثمانينات من القرن الماضي الوحدات العالمية (SI) وهنا وحدة الملي مكافئ / 100 غم تربة تصبح في الوحدات العالمية سنتي مول شحنة. كغم$^{-1}$ تربة ($Cmol_+.kg^{-1}$ soil) والتحويل هنا 1 ملي مكافىء / 100 غم تربة = 1 سنتي مول $_{شحنة}$ كغم$^{-1}$. تربة.

فيما عدا الالمنيوم فأن معظم الايونات الموجبة القابلة للتبادل هي مغذيات للنبات. في الترب القاعدية فأن الايونات الموجبة الاساسية هي Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^{+} والصوديوم Na^{+}. الايونات الموجبة تمتز على او تمسك على الشحنات السالبة على اسطح التبادل بقوى امتزاز مختلفة تؤثر في سهولة ازاحة الايون الموجب وتبادله على الاسطح مع ايون موجب اخر.ولمعظم المعادن فأن قوى مسك الايونات الموجبة بالترتيب الاتي:

$$Al^{3+} > H^{+} > Ca^{2+} \geq Mg^{2+} > K^{+} = NH_4^{+} > Na^{+}$$

صفات الايون الموجب تقرر قوة الادمصاص" الامتزاز السطحي" او سهولة عكس الادمصاص "عكس الامتزاز او التحرر" وكما يأتي:

أولا: قوة الامتزاز تتناسب بشكل مباشر مع شحنة الايون الموجب. ينفرد ايون الهيدروجين بسبب حجمه الصغير جداً وكثافة شحنته العالية، لذلك تقع قوة امتزازه بين الالمنيوم والكالسيوم (ايون الهيدروجين له خصوصية بتحوله الى ايون الهيدرونيوم H_3O او ما يسمى بقفز الهيدروجين او الايون Ion jump).

ثانياً: حجم الغلاف المائي وقوة امتزازه على الايون الموجب مهم ايضاً في عملية التبادل ولذا يحسب قطر (نصف قطر) الايون مع الغلاف المائي. مع زيادة حجم الايون المتأدرت تزداد المسافة بين الايون وسطح الطين ولذا فإن الايونات الموجبة ذات الغلاف المائي الكبير لا تستطيع الاقتراب الى اسطح التبادل كماهو الحال للايونات ذات الغلاف المائي الاصغر حجماً او الايون الاصغر حجماً مما ينجم عن ذلك انخفاض في قوة الإمتزاز وهذا يفسر وجود الصوديوم في آخر القائمة او السلسلة المذكورة.

➢ التشبع القاعدي **Base saturation (BS):**

احدى صفات التربة المهمة والتي تعبر عن النسبة المئوية من السعة التبادلية للايونات الموجبة CEC المشغولة بالقواعد (الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم). إن النسبة المئوية للتشبع عبارة عن النسبة المئوية لمجموع القواعد نسبةً الى الـ CEC معبراً عن الجميع بوحدات سنتي مول $_{\text{شحنة}}$ كغم$^{-1}$ تربة والتي تساوي الملي مكافئ / 100 غم تربة.

جاهزية الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم للنباتات تزداد مع زيادة النسبة المئوية للتشبع القاعدي. مثال ذلك تربة ذات 80٪ تشبع قاعدي ستجهز ايونات موجبة للنباتات النامية بكمية اكبر بكثير من التربة نفسها مع تشبع قاعدي اقل وليكن 40٪.

نسبة التشبع القاعدي تزداد مع زيادة درجة تفاعل التربة (Soil pH). ومثال ذلك عند pH 5.5 تكون نسبة التشبع القاعدي 50٪ وعند pH 7 تكون بحدود 80٪ تشبع قاعدي وهذه العلاقة يمكن ان تكون مفيدة ومساعدة في تقييم متطلبات الكلس للترب الحامضية.

زيادة الـ pH له تأثير اكبر في زيادة الـ CEC في الجزء العضوي من التربة مقارنة بالاجزاء المعدنية. لذلك، تأثير الـ pH في الـ CEC يكون اعظم في الترب عالية المحتوى من المادة العضوية.

➢ التبادل للايونات السالبة (التبادل الانيوني **Anion Exchange):**

الايونات السالبة تمتز على مواقع الشحنات الموجبة على اسطح معادن الطين والمواد الدبالية، الايونات الموجبة المسؤولة عن الامدصاص للايونات السالبة والتبادل تحدث على حواف المعادن والمواد الدبالية. التبادل للايونات السالبة يمكن ان يحدث ايضاً مع مجاميع الهايدروكسيل (OH^-) على اسطح الهايدروكسيل

للكاؤولينايت. ازالة او نزع ايونات الهايدروكسيل من اوكسيدات الحديد والالمنيوم المائية يعد ميكانيكية مهمة للتبادل للايونات السالبة لاسيما في الترب عالية التجوية في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية،وهذا يفسر ميكانيكية تثبيت معادن اطيان 1:1 للفسفور المضاف بشكل اسمدة.

سعة التبادل للايونات السالبة AEC تزداد مع نقصان الاس الهيدروجيني (pH) وهي عالية في الترب الحامضية الحاوية على معادن طين 1:1 والتي تحوي اكاسيد الحديد والالمنيوم مماهو عليه في الاطيان التي تسود فيها معادن 1:2 لذلك فان المعادن الطينية المونتمورلنايتية تملك سعة تبادل للايونات السالبة اقل من 5 ملي مكافئ لكل 100 غم تربة، بينما الكاؤولينايت يمكن ان يملك سعة تبادل للايونات السالبة تصل الى 40 ملي مكافئ / 100 غم تربة عند pH = 4.7.

الايونات السالبة مثل الكلوريد Cl^- والنترات NO_3^- يمكن ان تمتز مع انه ليس بدرجة امتزاز الاورثوفوسفات $H_2PO_4^-$ او الكبريتات SO_4^{2-} نفسها. ولذلك قوة الادمصاص للايونات السالبة يمكن ان تترتب كالتالي:

$$Cl^- < NO_3^- < SO_4^{2-} < H_2PO_4^-$$

في معظم الترب فأن ايون الاورثوفوسفات $H_2PO_4^-$ هو الايون السالب الرئيس الممتز مع ان بعض الترب الحامضية يمكن ان تمتز الكبريتات بكميات مهمة نوعاً ما.

ميكانيكية امتزاز الاورثوفوسفات في الترب اكثر تعقيداً من التجاذب الالكتروستاتيكي البسيط والذي يحدث مع الكبريتات والنترات والكلورايد. اذ ان الاورثوفوسفات يمكن ان يمتز من قبل معادن اكاسيد الحديد و/ الالمنيوم خلال تفاعلات تنتج عن روابط كيميائية غير الكتروستاتيكية ولهذا يفضل اطلاق التعبير امتزاز Sorption على تفاعلات الاورثوفوسفات ليكون مصطلح اعم من ادمصاص Adsorption.

◄ السعة التنظيمية (السعة البفرية "BC" Buffering Capacity):

جاهزية المغذيات للنبات تعتمد على تركيزها في المحلول ولكن بشكل اهم على السعة التنظيمية او البفرية للتربة التي تحافظ على التركيز. السعة البفرية (BC) تمثل قابلية التربة على اعادة تجهيز الايون المعين الى محلول التربة. وهذه السعة تشترك بها كل مكونات التربة الصلبة التي تتواجد عليها الايونات الموجبة والسالبة الممدصة على مواقع التبادل وعلى المادة العضوية.

مثال على ذلك، عندما يتم معادلة الهيدروجين H^+ بالتربة باضافة الكلس فأن الهيدروجين سيتحرر نتيجة لعملية عكس الادمصاص من مواقع التبادل. لذلك فأن درجة تفاعل المحلول (pH) سيتم تنظيمه بعملية تبادل الهيدروجين وسوف لا يتأثر الـ pH بشكل واضح الا بعد معادلة كمية مهمة من ايونات الهيدروجين المتبادلة. بطريقة مشابهة عند امتصاص جذور النباتات او ازالة ايون البوتاسيوم K^+ من المحلول فأن البوتاسيوم المتبادل على الاسطح سيتحرر بعملية عكس الادمصاص لاعادة تجهيز البوتاسيوم الى محلول التربة. وفي بعض الايونات كألاورثوفوسفات فأن بعض معادن الفسفور الصلبة تذاب وتتفكك لاعادة تجهيز وتنظيم تركيز $H_2PO_4^-$ في محلول التربة.

السعة التنظيمية هذه يمكن ان توصف من خلال النسبة بين التغير في الكمية الممتزة (ΔQ)Quantity والتغير في الايونات الذائبة في المحلولIntensity (ΔI) (او ما يطلق عليها بنسبة السعة / الشدةQ/I). وبما ان الـ CEC تزداد بزيادة المحتوى الطيني فالترب ناعمة النسجة ستظهر سعة بفرية وتنظيمية اعلى من الترب خشنة النسجة. فاذا قل البوتاسيوم المتبادل مثلاً نتيجة لامتصاص جذور النباتات فأن سعة وقابلية التربة على تنظيم البوتاسيوم ستحدد من مدى قابلية التربة على التجهيز. ولذلك هناك احتمالية ان يصبح المغذي المعين وهنا البوتاسيوم في حالة نقص مما يتطلب اضافة السماد الحاوي على البوتاسيوم لزيادة

البوتاسيوم المتبادل وتصحيح النقص في البوتاسيوم لاسيما في الترب ذات السعة التنظيمية الواطئة.

أما إضافة السماد الفوسفاتي فسيؤدي الى زيادة في الجزء الذائب والممدص وقسم منه سيترسب بشكل معادن او مركبات فسفور صلبة تسهم او تشارك مع السعة التنظيمية للفسفور في التربة.

لذلك فأن السعة التنظيمية (BC) هي صفة مهمة من صفات التربة تؤثر بشكل معنوي ومهم في جاهزية العناصر المغذية.

- السعة التنظيمية للايونات الموجبة للجذور Root CEC:

جذور النباتات تبدي او تملك سعة تبادلية موجبة بالمدى 10 – 30 ملي مكافيء / 100 غم جذور في احادية الفلقة (الحشائش) و 40-100 ملي مكافئ /100غم جذور في ثنائية الفلقة (البقوليات). صفة التبادل للجذور تعزى بشكل رئيس الى مجاميع الكاربوكسيل (COOH) وبشكل مشابه لمواقع التبادل على الدبال، وتشكل حوالي 70-90٪ من السعة التبادلية للايونات الموجبة للجذور. البقوليات (المحاصيل البقولية) وانواع النباتات الاخرى التي تملك سعة تبادل للايونات الموجبة للجذور عالية وتكون اكثر ميلاً الى امتصاص الايونات الثنائية بشكل اكثر تفضيلاً من الايونات الاحادية، بينما العكس مع الحشائش. لذلك فإن هذه الصفة تفسر سبب مقاومة الحشائش لنقص البوتاسيوم (في ترب واطئة المحتوى من K) مقارنة بالبقوليات في حقل مزروع من خليط من الحشائش والبقوليات لان الحشائش لها كفاءة او مقدرة امتصاص للبوتاسيوم اعلى من البقوليات.

➢ عوامل التربة المؤثرة في تحولات المغذيات:

Soil factors affecting nutrients transformations:

من المعروف إن هناك تحولات تحدث للمغذي الموجود أصلا في التربة او المضاف إليها وهناك عدد من عوامل التربة التي تؤثر في هذه التحولات وكما مبين أدناه:

- تهوية التربة Soil Aeration: وهي العملية التي يتم من خلالها تجديد وتبادل الغازات في التربة. وتتوقف سرعة التهوية على حجم المسام وعدد المسام ومدى استمرارية المسام في مقد التربة او بتعبير اعم على بناء التربة Soil structure وفلحيتها soil tilth وعلى المحتوى الرطوبي للتربة Soil moisture content. والتأثير الرئيس لتهوية التربة يكمن في التحولات البيوكيمياوية او الكيموحيوية للعناصر المغذية (النتروجين والفسفور والفسفور والمنغنيز والحديد)، ومن الامثلة على ذلك:

  - النتروجين:عملية النترجة: تتأثر هذه العملية سلباً بنقص الأوكسجين (في الظروف غير الهوائية الغدقة) بدرجة كبيرة لأن الاحياء التي تقوم بها احياء هوائية اجبارياً.
  - عملية عكس النترجة: تزداد بشكل كبير في الظروف غير الهوائية لأن الاحياء التي تقوم بها احياء غيرهوائية اجبارياً.

- رطوبة التربة Soil Moisture: تتداخل مع تهوية التربة وهنا سنورد بعض الامثلة:

- الفسفور: اذ ان الفسفور وفي الظروف الغدقة او ظروف الترب المزروعة بالرز تتحول فوسفات الحديديك الى الحديدوز وتصبح الفوسفات اكثر ذوبانية. هذا اضافةَ الى ذوبانية بعض المركبات والاسمدة الفوسفاتية بالماء.
- الكبريت: تتكون الكبريتات (المهمة في تغذية النباتات) تحت الظروف الهوائية وكبريتيد الهيدروجين (الذي يفقد بشكل غازات ويعطي رائحة كريهة) تحت الظروف غير الهوائية.
- المنغنيز والحديد :تحت ظروف الاختزال تزداد ذوباتيهما وجاهزيتيهما الى درجة قد تصل الى السمية للنباتات احياناً كما في نبات الرز.

- درجة تفاعل التربة (الاس الهيدروجيني) (Soil pH): درجة تفاعل التربة تؤثر في نشاط وفعالية احياء التربة المجهرية وجاهزية المغذيات وذوبانيتها وتؤثر في جهد الاكسدة والاختزال pE. ومن العمليات المهمة في التربة والتي تتأثر بدرجة تفاعل التربة هي عملية التطاير والتي يفقد بها النتروجين على هيئة غاز الامونيا عند إرتفاع درجة تفاعل التربة.

وهناك علاقة بين درجة التفاعل وجاهزية المغذيات (شكل 2 – 2) اذ ان معظم المغذيات تكون جاهزة عند درجة تفاعل 6.0-7.0 عدا الموليبدنم الذي تزداد جاهزيته في درجة تفاعل اعلى من 7.0 . الفسفور تزداد ذوبانيته في درجة تفاعل 6.8 كما تتأثر صيغ الفسفور في التربة بدرجة التفاعل.اذ ان النسبة بين $H_2PO_4^-$ وHPO_4^{2-} تساوي واحد عند درجة تفاعل 7.22 وزيادة الـpH عن هذا الرقم يؤدي الى زيادة HPO_4^{2-} (كما هو الحال في ظروف الترب العراقية) والعكس صحيح. إمتصاص الفسفور يكون افضل مع $H_2PO_4^-$. وبالمثل فأن الامونيوم يمتص بشكل افضل في الظروف القاعدية مثل ترب العراق في حين النترات تمتص بشكل اقضل في الترب الحامضية مثل الترب الاوربية هذا فضلاً عن ان اكسدة الامونيوم بالنترجة يعمل على خفض pH التربة ولذا يفضل في العراق التسميد بالاسمدة الامونياكية مثل اليوريا بشرط السيطرة على الفقدان بالتطاير.

- معادن الكاربونات Carbonates Minerals: وهذة تؤثر في جاهزية الفسفور من خلال التأثير في رفع درجة التفاعل pH والمساهمة في امتزاز وترسيب الفسفور وتقليل جاهزيته سوية مع تقليل جاهزية معظم العناصر المغذية الصغرى وتقليل السعة التبادلية للايونات الموجبة. والإصفرار الذي يظهر على النباتات نتيجة نقص الحديد بسبب الكاربونات يطلق عليه lime induced chlorosis والذي يمكن السيطرة عليه بإضافة الاسمدة ذات التأثير الحامضي (علي، 2012).

الشكل (2 – 2) مخطط يبين العلاقة بين درجة التفاعل وجاهزية العناصر الغذائية

المصادر:

- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. & Nelson, W.L.(2005)Soil fertility & Fertilizers" An Introduction to Nutrient Management"7th Ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1978.principles of plant nutrition.IPI.,SWISS.
- Sumner, M. E. 2000. Handbook of soil science. CRC press.

الفصل الثالث

النتروجين

Nitrogen



- دورة النتروجين
- فعاليات وصور النتروجين في النبات
- ايض النتروجين والمكونات النتروجينية في النباتات
- تشخيص حالة النتروجين في النباتات
- علامات النقص والسمية
- تراكيز النتروجين في النبات
- النتروجين في التربة
- صور النتروجين في التربة
- النتروجين العضوي في التربة
- النتروجين المعدني في التربة
- فحص التربة للنتروجين
- تقدير النتروجين المعدني
- تقدير الامونيوم
- تقدير النترات
- مصادر النتروجين السمادية
- المراجع



الفصل الثالث

النتروجين

Nitrogen

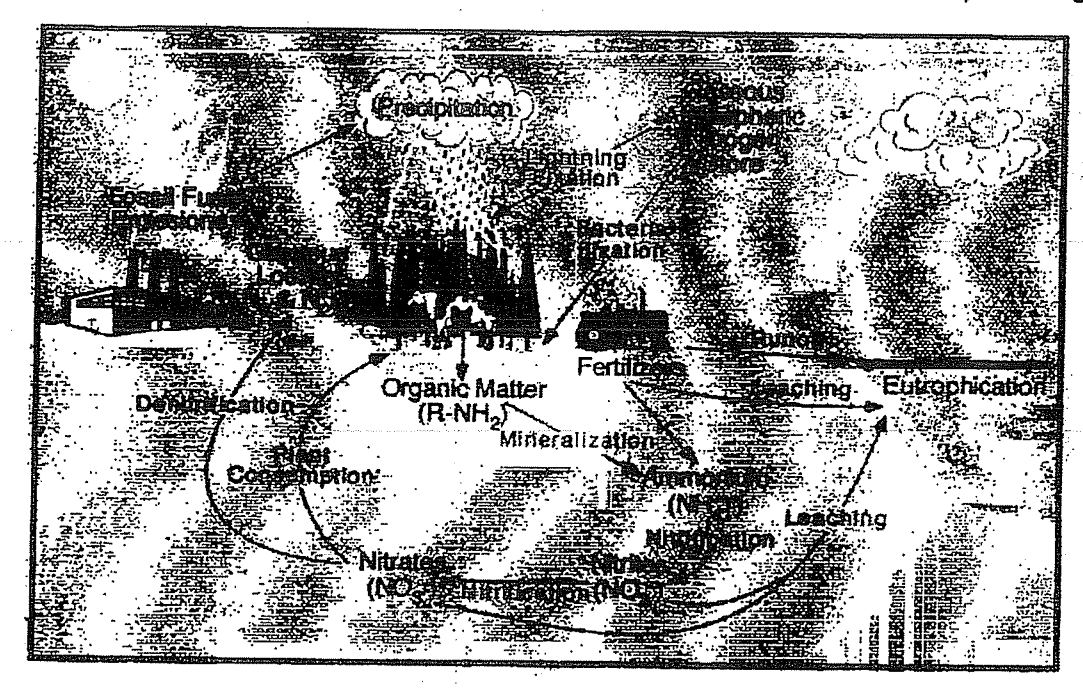
دورة النتروجينNitrogen Cycle:

على الرغم من توافر عدداً من المصادر العضوية وغير العضوية (المعدنية) لتجهيز النتروجين (N) إلا أنه يعد العنصر الذي تعاني من نقصه معظم الأنظمة الزراعية غير البقولية.

المصدر الرئيس لكل النتروجين المستعمل من قبل النبات هو النتروجين الجوي (N_2) والتي يشكّل 78 ٪ من الهواء الجوي ومع هذا ولسوء الحظ لاتستطيع النباتات الراقية الاستفادة وتمثيل هذا النتروجين الا بعد تحوله الى صيغ جاهزة للنبات من خلال:

- الإحياء المجهرية التي تعيش بشكل تعايشي على جذور البقوليات (Symbiotic).
- الإحياء المجهرية التي تعيش بشكل حر وغير تعايشي.
- التفريغ الكهربائي للنتروجين من الهواء الجوي وتكوين اكاسيد النتروجين(N_2O_5,N_2O,NO_2,NO).
- تصنيع الأسمدة النتروجينية التركيبية.

الاحتياطي الكبير للنتروجين الجوي يتوازن مع كل الأشكال المثبتة للنتروجين في التربة والإحياء الحية والميتة، والشكل 3. 1 يوضح تحولات النتروجين في نظام تربة – نبات – محيط جوي ويشمل على عدد من التحولات بين الأشكال العضوية وغير العضوية.



شكل (3 – 1) دورة النتروجين

فعاليات وصور النتروجين في النبات:

➢ **الأشكال:**

تحوي النباتات على 2-5٪ نتروجين على أساس الوزن الجاف وتمتص النتروجين على صورة النترات (NO_3^-) والامونيوم (NH_4^+). كلا الصورتين تتحرك الى جذور النباتات من خلال ميكانيكيتي الجريان الكتلي Mass flow والانتشار Diffusion. النترات الممتصة يجب ان تختزل الى امونيا من اجل التحول الى الأحماض الامينية وبعد ذلك الى البروتينات وهذة العملية تحتاج الى طاقة والى إنزيم نايتريت ردكتيز Nitrate reductase اما الامونيوم فانه يمثل مباشرة، ومن المفضل تجهيز النباتات بالصورتين اذا توافر ذلك لأن زيادة الامونيوم يمكن ان يحدث سمية للنبات.

➢ **دورة النتروجين في النبات:**

النبات يمتص النتروجين اما بشكل نترات NO_3^- او امونيوم NH_4^+ ويكون معدل امتصاص النترات عادةً عالي مسبباً زيادة في الـpH لمنطقة المحيط الجذري.

وبشكلٍ عام عندما تكون كمية النترات الممتصة من قبل جذور النبات عالية تحدث زيادة في الانيونات (الايونات السالبة) المنقولة خارج الخلية ومنها ايونات الهيدروكسيل OH^- والبيكاربونات HCO_3^- والانيونات العضوية وتحدث زيادة في امتصاص الايونات الموجبة مثل البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم لإتمام عملية التوازن داخل الخلية. بينما امتصاص الامونيوم يزيد من امتصاص الايونات السالبة مثل الأورثوفوسفات $H_2PO_4^-$ والكبريتات SO_4^{2-} ويحصل انخفاض في قيمة الـpH للمنطقة المحيطة بالجذر بسبب افراز الهيدروجين بوساطة الجذور للحفاظ على الاتزان بين الشحنات داخل النبات.

النترات والامونيوم المتصان تتحولان إلى الأحماض الامينية والأخيرة تتحول إلى البروتين الذي يشكل هيكل التراكيب التي تحدث فيها معظم التفاعلات الحيوية. الا ان زيادة النتروجين على حساب العناصر المغذية الأخرى (الفسفور والبوتاسيوم والكبريت) يمكن أن يؤخر النضج للمحصول أن يؤدي إلى الإصابة ببعض الأمراض، لاسيما اذا كانت هناك زيادة من النتروجين على حساب البوتاسيوم (او بتعبير آخر زيادة البروتينات على الكاربوهيدرات في جسم النبات) فأن ذلك يؤدي إلى تكوين سيقان عصارية معرضة للإضطجاع والإصابة بالأمراض والحشرات، وهنا تأتي أهمية الإدارة السليمة لإضافة الأسمدة والتي يجب ان تكون على اساس متزن.

النترات والامونيوم المصادر الرئيسية لنتروجين النباتات وتحت ظروف التهوية الاعتيادية في الترب، فان النترات هي المصدر الرئيس للنتروجين. النترات تتحرك بسهولة في النبات ويمكن أن تخزن في الفجوات ولكي تستعمل النترات في تصنيع البروتين والمركبات العضوية الأخرى في النباتات يجب أن تُختَزل اولاً إلى الامونيا. يحول انزيم نيتريت ردكتيز النترات (NO_3^-) إلى نِتريت (NO_2^-) في الاقسام غير العضوية للسايتوبلازم non organelle proteins of the cytoplasm. كل خلايا النبات الحية لها القابلية على اختزال NO_3^- إلى NO_2^-، باستعمال الطاقة والمختزل (NADH وNADPH) لعملية التمثيل الضوئي

والتنفس في الأنسجة الخضراء وللتنفس في الجذور والأنسجة غير الخضراء. يتمركز النتريت ردكتيز في الكلوروبلاست(البلاستيدات الخضراء) ويختزل النتريت NO_2^- إلى NH_3 مستعملاً الطاقة الناتجة من تفاعلات الضوء لعملية التمثيل الضوئي والذي يستعمل فيه الفيرودوكسين المختزل reduced ferredoxin والذي هو احد المستقبلات للألكترونات في تلك العملية.

Nitrate + Reduced nicotine amide Adenine Di nucleotides (NADH, NADPH)

بايريدين نيوكلتايد المختزل

→ Nitrite + Oxidized nicotine amide Adenine Di nucleotides (NAD+, NADP-)*

بايريدين نيوكلتايد المؤكسد

اختزال النترات يتطلب المولبدنم كعامل مساعد. تحدث عملية نقل إلكترونين لاختزال النترات (حالة أكسدة N +5) إلى النتريت (حالة الأكسدة للنتروجين +3). المصدر للبايريدين نيوكلتايد المختزل Reducednicotine amideAdenineDinucleotides في الجذور هو التنفس وايضاً يشارك التنفس مع التمثيل الضوئي كمصدر في الأجزاء العليا.

تحول النتريت إلى الامونيا يتم بمساعدة إنزيم نترايت ردكتيز والذي يقع في الكلوروبلاست للأنسجة الخضراء وفي البروبلاستيدات proplastids للجذور وللأنسجة غير الخضراء.

Nitrite + reduced ferrodoxin →ammonia + oxidized ferrodoxin

تمثيل وتصنيع النترات الى مركبات عضوية هي عملية مستهلكة للطاقة،تستعمل ما يكافئ 15 مول من الادينوسين ترايفوسفيت (ATP) لكل مول من النترات المختزلة. تمثيل الامونيا تتطلب خمسة ATP إضافية لكل مول في الجذور فان كمية تصل إلى 23٪ من الطاقة التنفسية يمكن أن تستعمل في تمثيل

النترات مقارنة مع 14٪ لتمثيل الامونيوم. مع هذا، النترات يمكن أن تخزن في الخلايا لحدٍ ما بدون تأثيرات سمية ولكن الامونيا تكون سمية حتى في تركيزات واطئة ويجب أن يحول إلى مركبات عضوية. بالتعاقب، تمثيل الامونيوم لإزالة السمية يمكن أن يزيل الخزين (يستنزف) الخزين الاحتياطي لكاربون النباتات اكثر من تراكم النترات نفسها.

تمثيل الامونيا:

تحويل الامونيوم إلى أحماض امينية واميدات هي الميكانيكية الرئيسة لتمثيل وازالة سمية الامونيا. تكوين حامض الكلوتاميك هي عبارة عن ميناء لدخول النتروجين إلى مركبات عضوية وتتم العملية في الكلوروبلاست أو المايتوكوندريا. تمثيل الامونيوم في مايتوكوندريا الجذور ممكن ان يستعمل الامونيوم الممتص بواسطة الجذور من المحلول المغذي بتراكيز عالية. ان الأنزيم المشترك في تمثيل الامونيا في المايتوكوندريا هو حامض الكلوتاميك دي هايدروجينز. تمثيل الامونيا في الكلوروبلاست يستعمل الامونيوم التي تكون من اختزال النتريت NO_2^- بالنترايت ردكتيز الذي تحرر من الفسفرة الضوئية. وهناك إنزيمين مشتركين في الكلوروبلاست هما كلوتامين سنثيز glutaminesynthetase وكلوتاميت سنثيز glutamate synthase.

كلوتامين سنثيز يكون الكلوتامين من الامونيوم والكلوتاميت (الكلوتاميك اسد). يكون كلوتاميت سنثيز كلوتاميت من الكلوتامين والفا – اوكسي كلوتاريت (الفا – كيتو كلوتاريك اسد) (α –Keto glutric acid). هذه الإنزيمات ايضاً نشطة في الجذور والعقد الجذرية (تبيث N_2). هذه لإنزيمات تصنع معظم الامونيوم المشتق من الامتصاص من المحاليل المخففة واختزال النترات وتثبيت النتروجين الجوي او التنفس الضوئي.

Ammonia + glutamate + ATP+ reduced ferredoxin → glutamine +oxidized ferredoxin

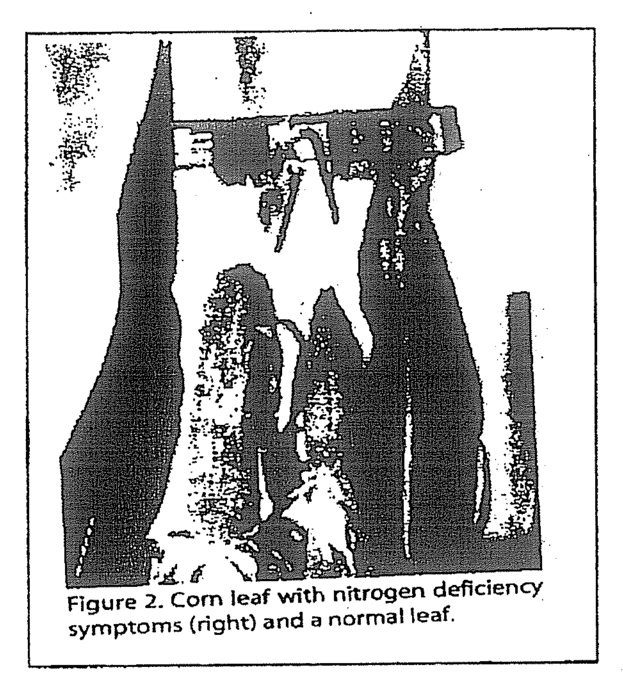
Glutamine + α - oxoglutarate → 2 glutamates

Sum (or net): Ammonium + α - oxoglutarate + ATP+ reduced ferredoxin → glutamate + oxidized ferredoxin

➢ تشخيص حالة النتروجين في النباتات:-

علامات النقص والزيادة:

نقص تجهيز النتروجين يحدد النمو لكل أعضاء النبات والجذور والأوراق والأزهار والثمار (و بضمنها البذور). نبات يعاني من نقص N يبدو متقزم بسبب تحديد نمو الأعضاء الخضرية. الأوراق التي تعاني من نقص N تبدو شاحبة في اللون من الأخضر الباهت الى الأصفر (الشكل 2.3) وفقدان اللون الأخضر يكون منتظم عبر صفيحة الورقة وإذا كان النبات يعاني من نقص N خلال دورة حياته فأن النبات ككل يكون شاحب ومتقزم ونحيف. إذا تطور النقص خلال دورة النمو فأن النتروجين سيتحرك من الأوراق السفلى وينتقل الى الأوراق الحديثة (الفتية) مؤدياً الى تحول الأوراق السفلى الى أوراق شاحبة اللون وفي حالة النقص الشديد تتحول الى بنية اللون (محروقة) وتسقط. احياناً تحت ظروف عدم كفاية النتروجين، فأن الأوراق لاسيما السفلى منها ستزود النتروجين الى الثمار والبذور وعلامات النقص يمكن ان تظهر على الأوراق. هذه العلامات والتي تظهر في وقت متأخر من موسم النمو من الممكن ان لا تكون دلالة على نقص محدد للإنتاج ولكن تعبيراً عن نقل النتروجين من الأوراق القديمة الى الأجزاء الأخرى للنبات.



شكل (2.3) صور لعلامات نقص النتروجين في الذرة الصفراء

- **تراكيز النتروجين في النباتات:-**

يستعمل تحليل النبات Plant analysis في تشخيص نقص المغذيات Deficiency والزيادة Excess والكفاية Sufficiency او Adequacy من المغذيات. تراكيز N في النباتات تختلف مع الأنواع النباتية المختلفة والأصناف (جدول 1.3)، كما إن تجمع النتروجين في النباتات ايضاً يختلف بين العوائل النباتية. المحاصيل العشبية في الحقول المسمدة عادةً تملك تراكيزN تتجاوز 3٪ على أساس الكتلة الجافة للأوراق الناضجة. أوراق الحشائش (1.5 – 3.5٪N) بشكل واضح أوطأ في تراكيز النتروجين الكلية بالقياس الى البقوليات، (<3٪N). أوراق الأشجار والزينة الخشبية يمكن ان تحوي اقل من 1.5٪ N (< 1.5٪ N) في الأوراق الناضجة. الاختلافات الوراثية بين الأنواع والعوائل النباتية تؤثر في امتصاص النتروجين وتمثيله ونمو النبات بشكل عام. تراكيز N في الأوراق والسيقان والجذور تتغير خلال موسم النمو، وفي بداية النمو او المراحل المبكرة من النمو التراكيز تكون عالية في النبات ومع نضج النبات تقل تراكيز N في هذه الأجزاء، وعادةً بشكل مستقل عن التجهيز الأولي الخارجي للنتروجين. حركة النتروجين في الأوراق القديمة الى المرستيمات والأوراق الحديثة والثمار يؤدي الى انخفاض وتناقص N في

الأوراق القديمة "الأوراق السفلى في النبات". بغض النظر إذا كان النبات حولي او ثنائي الحول او معمر تحدث تأثيرات معتبرة في علاقات الإنتاج وحالة تجمع المغذيات في الأعضاء (الأوراق) خلال الموسم. واحياناً إذا كان تطور النبات محدد نتيجة لمستوى واطئ لعامل خارجي مثل المغذيات الأخرى والماء والحرارة فان التركيز الداخلي للنتروجين من المحتمل ان يزداد. الاسمدة النتروجينية يمكن ان يكون لها تأثير كبير في تراكيز النتروجين الكلي في النبات. إذ ان النباتات النامية في وسط مضاف إليه امونيوم يمكن ان تملك ضعف تركيز N في الأجزاء الخضرية لنباتات مغذاة على النترات (بشرط المحافظة على صورة النتروجين كما هي).

اختيار النسيج لتحليل النبات مهم في تشخيص النبات وعموماً الأوراق أكثر أجزاء النبات اقناعاً لأغراض ألتشخيص وتتوفر مصادر علمية حول الجزء الاكثر تمثيلاً والملائم للحالة المعينة المراد دراستها. عندما يكون تجهيز المغذيات على أساس إضافة كل المغذيات وبشكل ثابت وبمستوى عالٍ عدا النتروجين فان تركيز N في النبات متوقع ان يزداد مع الزيادة في النمو والانتاج مع زيادة تجهيز N. مع هذا تراكيز N في الأوراق غالباً لا ترتبط مع زيادة النمو او الإنتاج إذ ان النقص في المغذيات الأخرى او الاجهادات التي تحدث بسبب الحرارة او الرطوبة يمكن ان تؤدي الى زيادة تركيز N او النترات مع نقصان النمو او الإنتاج.

عمر النسيج النباتي مهم في تشخيص نقص N وفي المراحل المبكرة من نمو النبات فان تراكيز N تكون اعلى من التراكيز في المراحل المتأخرة. زيادة تراكيز N الخارجي سيزيد من تركيز N في أعضاء النبات، ولكن الاتجاه في تركيز N بالانخفاض في الأوراق والسيقان والجذور مع نضج النبات وهذه التغيرات ستختلف فيما إذا كان النبات حولي او ثنائي الحول او معمر. من المهم اخذ عينات النبات لتقدير N عند زمن محدد من السنة او عند مدة او مرحلة تطور نباتية معينة. بعض الباحثين يوصي بان العينات تؤخذ عند وقت معين من اليوم لان شدة الضوء وطول المدة الضوئية تؤثر في كمية NO_3^- في الأنسجة. تراكيز المغذيات في الأوراق يمكن ان تختلف بحدود تصل الى 40 ٪ على أساس يومي. النترات يمكن ان تتغير مع

الوقت المعين من اليوم ويحصل أوطأ تركيز بعد الظهر مما هو عليه في الصباح الباكر.

تحليل الجزء العلوي من النبات من الممكن ان يكون أفضل قياس او دليل للحالة التغذوية للنباتات مع ان كل عضو من أعضاء النبات سيختلف في تركيزه من N. وبما ان الأعضاء النباتية تختلف في محتواها (جدول 2.3) فمن المفضل اختيار عضو معين للتحليل. الأنسجة الناقلة مثل السيقان والسويقات يمكن ان تجهز أفضل دليل على استجابة النبات لإضافة المغذيات او أفضل دليل على حالة المغذي عند زمن محدد ومدة معينة من النمو. تركيز NO_3^- في سيقان الذرة الصفراء (Zea mays L) غالباً اعلى مما هو في الأوراق. مقياس النترات في الجزء السفلي من الساق للذرة الصفراء ذا أهمية في تشخيص حالة النتروجين للمحصول ولوحظ ان تحليل النتروجين الكلي للحبوب كان بجودة تحليل السيقان في تقدير مدى الكفاية او النقص في الذرة الصفراء. سويق الورقة كنسيج ناقل غالباً يحلل لتقييم حالة المغذي للمحاصيل الخضرية. الأوراق غالباً تستعمل لتقدير النتروجين لأنها الأعضاء للتمثيل النشط وهنا هي الأفضل للتحليل لمعرفة الحالة التغذوية للنبات ككل. عينات الأوراق يمكن ان تؤخذ دون التأثير على النبات ويحدد موقع الورقة ومرحلة النمو التي أخذت فيه. اخذ عينة عشوائية ليست بالكفاءة نفسها لأخذ عينة من موقع معين وحجم معين وعمر معين لأن النتروجين عنصر متحرك في النبات ويتحرك من الأوراق السفلى الى العليا. الأوراق كاملة الاتساع الحديثة هي التي تستعمل لتلافي اخذ الأوراق القديمة التي ممكن ان تعاني من نقص او إنها ميتة او ملوثة بالتربة، ومثال على ذلك تؤخذ الورقة الرابعة او الخامسة كاملة الاتساع من القمة النامية في نباتات الطماطم، او ورقة العلم في بعض محاصيل الحبوب لتحديد الحالة التغذوية.

نسب تراكيز N الى المغذيات الأخرى في النباتات :-

التراكيز الحرجة للنتروجين هي التراكيز او القيم في الجزء المعين من النبات عند مدة نمو معينة والتي اذا كان التركيز اقل منها ينخفض النمو والانتاج بحدود 5 أو 10 ٪ (بتعبير أخر التركيز الحرج في النبات لمغذٍ ما هو التركيز الذي يجعل النمو والانتاج اقل من 90 – 95٪).

التراكيز الحرجة للمغذيات في الاجزاء النباتية تم افتراضها لكي يكون لها تطبيق كوني او عالمي للأوساط والمواقع الجغرافية. ولكن، مع هذا، وبما ان محتوى الورقة (النسيج) يتغير مع العمر، فان التركيز الحرج يمكن ان يختلف ويصبح غير حساس او غير مرن لتشخيص نقص العنصر. مثال ذلك إذا أخذت عينة ورقة في المراحل المبكرة من مراحل نمو النبات فان تركيز N يمكن ان يتجاوز التركيز الحرج التي قدر للنسيج عند مراحل نمو متاخرة وعينة تؤخذ في نهاية الموسم او عند مراحل متأخرة يمكن ان تشخص على إنها نقص للنتروجين بشكل خاطئ. للتعامل مع المشكلة او مشكلة تغير التركيز الحرج مع عمر النبات، فانه عدد كبير من التراكيز الحرجة يكون مطلوباً لكل مرحلة نمو. تقدير وتحديد التراكيز الحرجة ليس سهلاً وهو موضوع صعب لحاجته الى الملاحظات التي يجب عملها للنمو والإنتاج استجابة لتراكيز المغذيات في الأوراق. وتم تطوير نظام يسمى نظام التشخيص والتوصية المتكامل (Diagnosis & Recommendation integrated system "DRIS") لقييم المستوى التغذوي للنبات بغض النظر عن الصنف او العمر او موقع الورقة على النبات ويستفيد من نسب تراكيز العناصر المغذية في الأوراق لتقدير الكفاية النسبية للمغذيات (وسيتم التوسع في الموضوع مع التقييم الخصوبي).

جدول (1.3) تراكيز النتروجين في الاوراق لمحاصيل مختلفة تحت ظروف زراعية معينة:

نوع المحصول	مدى التشخيص(٪ وزن جاف للاوراق)		
	واطئ	كافي	عالي
محاصيل حقلية			
الحشائش الحبوبية	1.5 >	3.6 -1.8	3.6 <
البقوليات الحبوبية	3.6>	5.0 -3.8	5.0<
القطن	3.0>	4.5 -3.0	5.0<
البنجر السكري		5.0 -4.3	5.0<
قصب السكر	1.5 -1.0>	2.7 -1.5	2.7<
محاصيل العلف			
الحشائش	1.5>	3.2 -2.0	3.6
البقوليات	3.8>	4.5 -3.8	7.0 -5.0
اشجار الفواكه والبندق			
الحمضيات	2.2 -2.0>	2.9 -2.3	3.3<
الشليك	2.1>	4.3 -2.1	4.3<
Chapman, H.D. Diagnostic criteria for plants &Soils 1965			

جدول 2.3 تراكيز النتروجين الكلي في الاجزاء النباتية:

جزء النبات	تركيز النتروجين الكلي(٪ من المادة الجافة)	
	المدى range	المثالي optimum
الاوراق leaves	6 – 1	3<
السيقان stems	4 – 1	2<
الجذور roots	3 – 1	1<
الثمار fruits	6 – 1	3<
البذور seeds	7 – 2	2<

➢ تحولات النتروجين في التربة Nitrogen Transformation in soil:

يتواجد النتروجين في التربة بصورة رئيسة على شكل نتروجين عضوي (90-95 ٪) والمتبقي يكون على شكل غيرعضوي Inorganic (معدني Mineral). النبات لايستفيد من النتروجين العضوي الا بعد تحوله الى المعدني بعملية تسمى المعدنة.جزء بسيط من النتروجين العضوي تتم معدنته سنوياً وبنسبة 1-5 ٪ من النتروجين الموجود في المادة العضوية للتربة.

معظم النباتات لا تستطيع الاستفادة من الاحتياطي الكبير للنتروجين الموجود في الغلاف الجوي، وهناك اكثر من 100 كغم N سنة$^{-1}$ هـ$^{-1}$ تثبت بواسطة البقوليات، ومع هذا الاعتماد في انتاج المحاصيل على الاحتياطي للنتروجين لايمكن ان يكون فعالاً لمدة طويلة لأن هذا الخزين يستنزف بسرعة. والتوجهات الحديثة في الانتاج وللتقليل من التلوث يعتمد بشكل اوسع على ادخال المحاصيل البقولية في الدورات الزراعية للتقليل من استعمال الاسمدة الكيميائية، مع ان هذه الممارسات ليست حديثة ولاسيما في دول مثل نيوزيلندة والتي اعتمدت هذه الممارسات منذ مدة ليست بالقصيرة.

- النتروجين العضوي في التربة Soil organic N:-

تراكيز النتروجين الكلي تتراوح من 0.02٪ في التربة تحت السطحية الى 2.5 ٪ في البيت (peat)(التربة العضوية) وتنخفض تراكيز النتروجين في الترب بشكل عام مع العمق، ومعظم النتروجين يكون في السنتمترات العليا او الطبقة العليا من التربة. الطبقة السطحية (الأفق A ومنطقة عمق الحراثة) للترب المزروعة تحوي بين 0.08-0.4٪ N. أكثر بكثير من 90٪ ويصل الى 98٪ او حتى أعلى من النتروجين في الطبقة السطحية للتربة موجود بالمادة العضوية. وبما ان معظم النتروجين في التربة عضوي فان تقدير النتروجين الكلي هو تعبير شائع لتقدير النتروجين العضوي.

المادة العضوية للتربة SOM (Soil Organic Matter) هي مزيج معقد من مواد مختلفة الدرجات من التحلل والثبوتية. المادة العضوية للتربة من الممكن ان تقسم الى أجزاء هيومية(دبالية Humic) وأجزاء غير هيومية، مع عدم وجود خط فاصل بوضوح بين الأجزاء المختلفة. الجزء المتحلل جزئياً او الجزء غير الهيومي او غير الدبالي هو المصدر الرئيس للطاقة للاحياء المجهرية للتربة. اعتماداً على طبيعة المواد النباتية حوالي ½ بقايا النباتات الغضة (الطرية) المضافة للتربة تتحلل خلال بعض أسابيع او شهور. الدبال (Humus) او المواد الدبالية هي نتيجة او انواتج تحلل المواد العضوية ممزوجاً بالفعل المايكروبي على المادة العضوية لإنتاج مواد معقدة أكثر استقراراً وثبوتية من الجزء غير الدبالي. الدبال يقسم الى ثلاثة أجزاء: هيومين والأحماض الهيومية والأحماض الفولفية، اعتماداً على ذوبانيتها. الهيومين هي المواد ذات الأوزان الجزيئية الأعلى وهي بشكل عام غير ذائبة في الحوامض والقواعد المخففة. حامض الهيوميك ذائب بالقواعد وغير ذائب بالحامض. الأحماض الفولفية (الفولفيك أسد) هي ذائبة بالقاعدة وبالحامض. الدبال بطيء المعدنة وما لم يتواجد بكميات كبيرة فانه لم يساهم بشكل فعال في تغذية النبات بالنتروجين في معظم الترب.

المواد العضوية التي تتعرض الى عملية المعدنة يمكن ان تكون بأشكال وحالات وتراكيب عدة لاحصر لها وكل هذه العوامل تؤثر بعملية المعدنة. وبشكلٍ عام المخلفات الحيوانية فيها المخلفات الصلبة والسائلة وتحوي النتروجين بشكل احماض امينية ويوريا وامونيا ومخلفاتٍ اخرى وتحتوي مخلفات الدواجن فضلاً عن ذلك، على النتروجين بشكل حامض اليوريك uric acid ويشكل بحدود 61٪ من نتروجين مخلفات الدواجن هذه. اما الجزء السائل فيتعرض للمعدنة السريعة ويعد غير مستقر. وعموماً يكون التحلل للمخلفات الحيوانية سريع في البداية ويتباطئ مع الزمن وتعتمد نسب التحلل على نوع المخلفات والرطوبة والظروف البيئية المحيطة وطريقة التحلل هل هو هوائي او لاهوائي لأن العملية هي عملية حيوية biotic والعمليات الحيوية تتأثر بالظروف المحيطة المؤثرة في نشاطها.

هناك عدداَ من الطرائق لتقدير جاهزية النتروجين العضوي في الترب ومن هذه الطرائق طرائق كيموحيوية (بايوكيمياوية) (تقدير نمو الأحياء المجهرية، النتروجين المعدني المتكون او CO_2 المتحرر) وطرائق كيميائية (تقدير النتروجين الكلي للتربة، النتروجين المعدني والمادة العضوية وإضافة او استعمال طرائق استخلاص مختلفة). الطرائق الكيميائية تطبق بشكل أكثر شيوعاً من الطرائق البايولوجية في تقدير المعدنة لأنها اسرع وابسط. وعموماَ فان ارتباط إنتاج المحاصيل مع تقديرات المعدنة لم تكن ناجحة بشكل عام في تقييم قابلية او طاقة التربة في تجهيز النتروجين لنمو المحاصيل.

وبشكل عام فان الأنظمة الزراعية التي تعتمد على احتياطي التربة من النتروجين لا تبقى منتجة بدون إضافة او ان يكون السماد النتروجيني مدخل فيها.

نسبة الكاربون الى النتروجين C/N ratio :

وهي نسبة مهمة تمثل نسبة الكاربون العضوي الى النتروجين الكلي وتؤثر بشكل مباشر في عمليتي التمثيل في اجسام الاحياء او المعدنة لمادة التربة العضوية

والمواد العضوية المضافة للتربة. وكلما كانت المواد العضوية المضافة ذات محتوى عالٍ من النتروجين كافي لنشاط الاحياء المسؤولة عن المعدنة كانت هناك عملية معدنة اسرع للنتروجين العضوي.وهناك ارقام تعد مقبولة بشكل عام وهنا اذا كانت نسبة الكاربون الى النتروجين اقل من 20/1 تكون عملية المعدنة Mineralization هي السائدة (Marcel van der Perk, 2006) واذا تجاوزت 30/1 تسود عملية التمثيل Immobilization (التمثيل داخل اجسام الاحياء) اما بين 20 – 30 يمكن ان يكون هناك توازن بين العمليتين. والجدول 3.4 يبين بعض قيم نسبة الكاربون الى النتروجين ولمخلفات عضوية مختلفة.

جدول (3.4) نسب النتروجين C/N ratio

المادة	C/N ratio
أحياء التربة المجهرية	8/1
مادة التربة العضوية	10/1
البرسيم الحلو	12/1
اوراق الطماطة	16/1
اوراق الجت	18/1
سيقان الطماطة	45/1
مخلفات ابقار واغنام ودواجن بعد عملية التحلل	20>
مخلفات الذرة	60/1
نشارة الخشب	400/1

ولتشجيع عملية التحلل تضاف كميات من النتروجين والفسفور لتوفير المغذيات للأحياء المحللة. وتختلف المصادر في كمية النتروجين او الفسفور المطلوب إضافته الا ان الأدق هو قياس نسبة الكاربون الى النتروجين قبل عملية الحضن

والتخمر ومن ثم تحسب كمية النتروجين المطلوب وهناك توضيح جيد لهذه الامور في Havlin et al 2005.

- **النتروجين المعدني في التربة Inorganic N:-**

النتروجين المعدني في التربة عموماً اقل من 5– 10٪ من النتروجين الكلي للترب السطحية ويتعرض الى تغيرات في التركيب والنوعية. النتروجين غير العضوي (المعدني) يختلف بشكل كبير بين الترب، ويتأثر بالمناخ بشكل كبير (ومثال على ذلك فإن النتروجين المعدني في المناطق الرطبة الاستوائية وفي التربة السطحية متوقع لان يكون واطئ في الشتاء ويزداد في الربيع والصيف ويقل مع أمطار الخريف والتي تحرك النتروجين الذائب الى عمق التربة). وعلى الرغم من كون الكمية ليست كبيرة إلا انه المصدر لتغذية النبات اما الاسمدة المعدنية المضافة او ما يتمعدن من النتروجين العضوي. النتروجين الجاهز للنبات يتحرر من المادة العضوية بالمعدنة ويتحول مرة ثانية الى مادة عضوية (خلايا مايكروبية) بعملية التثبيت داخل أجسام الكائنات الحية. الامتصاص بوساطة جذور النباتات يعد المصدر الرئيس لإزالة النتروجين المعدني من التربة، مع ان، غسل النترات والفقدان بعملية فقدان النتروجين بشكل غازات او ما يطلق عليها "عكس النترجة"denitrification"(فقدان النترات بشكل غازات N_2، NO، N_2O) وفقدان الامونيوم بعملية التطاير (الفقدان بشكل غازات $NH_3\uparrow$) والتثبيت مابين الطبقات في معادن الطين والتثبيت داخل أجسام الأحياء تؤدي كلها الى فقدان النتروجين المعدني من الترب او من محلول التربة (شكل 3. 1).

أشكال النتروجين المعدني الذي يمكن العثور عليها في التربة هي النترات NO_3^-والنتريت NO_2^- والامونيوم NH_4^+ المتبادل والمثبت وغاز النتروجين (N_2)، واوكسيد النتروز N_2O. النترات والامونيوم المتبادل مهمة في تغذية النبات والأشكال الأخرى عموماً غير جاهزة لتغذية النبات. الامونيوم المثبت بشكل معين في داخل طبقات معادن الطين (امونيوم ما بين الطبقات Interlayer Ammonium)

مكوّن نتروجيني أساسي للترب تحت السطحية واحتمالاً انه اشتق من المواد الصخرية الأم ومع هذا، الامونيوم المثبت في الطبقة السطحية للتربة يمكن ان يكون ذا أصل حديث من المادة العضوية. الامونيوم المثبت بين طبقات الطين مقاوم للإزالة وله أهمية محدودة في تغذية النبات. المكونات الغازية تنتشر من الغلاف الجوي او ترتفع في عملية عكس النترجة وليس لها دور في تغذية النبات، عدا أخذها بنظر الاعتبار عند الحديث عن فقدان النتروجين من التربة.

إن الامونيوم المتبادل والذائب جاهز للنبات Available ، لكن تركيز الامونيوم في الترب عادةً واطئ، وغالباً باتجاه ملغم. كغم$^{-1}$ قليلة او كغم. هـ$^{-1}$. في الترب المهواة بشكل جيد فان الامونيوم يؤكسد بشكل سريع الى نترات بعملية النترجة ولذا تعد النترات المصدر الرئيس للنتروجين الجاهز في التربة في تغذية النبات وهناك كمية قليلة من الامونيوم والنتريت تتجمع في معظم الترب. الامونيوم(*) والنتريت سامة لمعظم النباتات. هذه السمية تحدث احتمالاً إذا تجاوز تركيز إحداها عن 50 ملغم N كغم$^{-1}$ في التربة او اي وسط آخر، لاسيما إذا كان احدهما المصدر الرئيس للنتروجين في تغذية النبات. النترجة حساسة لحموضة الترب وعلى الأغلب تتثبط إذا كانت درجة تفاعل التربة اقل من 5، هذه الحموضة يمكن ان تؤدي الى تجمع للامونيوم.

معدنة النتروجين Nitrogen Mineralization:

تحول النتروجين من الشكل العضوي الى الاشكال المعدنية او بتعبير اخر الى الاشكال الجاهزة للا متصاص من النبات، وهي تشمل على عدد من الخطوات كما يأتي:

(*) الامونيوم يصبح سمي بشكل خاص اذا ما تحول الى الامونيا ولاسيما في فترة الانبات ونمو البادرات.

$$Protein \xrightarrow[\text{بكتريا وطحالب وفطريات}]{H_2O} R\text{-}CH_2\text{-}COOH + R\text{-}NH_2 + urea + CO_2 + \text{طاقة}$$

$$NH_2 \rightarrow NH_3 + R\text{-}OH + Energy$$

$$+H_2O \rightleftharpoons NH_4 + OH$$

وتشترك في هذه العمليات عدد كبير من الأحياء المجهرية المتواجدة في التربة والتي تتطلب ظروف جيدة ومغذيات للقيام بعملها. والامونيوم الناتج من هذه العملية يتعرض الى:

- يمكن ان يتحول الى النتريت NO_2^{-1} والنترات NO_3^{-1} بعملية تسمى النترجة Nitrification
- يمتص بشكل مباشر من النبات Absorption
- يثبت في أجسام الأحياء المتعددة التغذية بعملية تسمى التثبيت Immobilization
- يثبت داخل طبقات معادن الطين بعملية تسمى تثبيت الامونيوم Fixation
- يتحول الامونيوم إلى آمونيا بعملية تسمى التطاير Volatilization
- يمتز على سطوح الطين والمادة العضوية بعملية تسمى الامتزاز Sorption

تحولات النتروجين في التربة تتأثر بالمحتوى الرطوبي والحرارة للتربة ونسبة الكاربون الى النتروجين C/N ratio في المادة العضوية لاسيما وانها عمليات كيموحيوية تتم بوساطة الأحياء المجهرية. وعموماً تزداد المعدنة عند درجات الحرارة 35-40 ^{0}م مع انها تحدث عند المدى 5- 40 ^{0}م وتحت ظروف الرطوبة والتهوية المثالية. اما نسبة C/N فإن عملية المعدنة تكون هي السائدة عندما تكون النسبة اقل من 20/1.

- التطاير Volatilization:

عملية تحول الامونيوم الى امونيا من خلال الاتي:

$$NH_4 \leftrightarrow NH_3\uparrow + H^+$$

$$NH_4 + OH^- \leftrightarrow NH_3 + H_2O$$

العامل الرئيس المؤثر هنا هو درجة تفاعل التربة الـ pH والعملية تحدث في الترب القاعدية والترب الكلسية (او بشكل عام عندما يكون pH التربة اعلى من 7.5). ومن العوامل الاخرى المؤثرة هي درجة الحرارة والحراثة والغطاء الخضري والرطوبة.

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + CaSO_4$$

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2 + H_2O$$

- النترجة Nitrification:

الاكسدة البايولوجية للامونيوم الى النتريت والنترات وكما يأتي:

$$2NH_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$$

$$2NO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{Nirtobacter}} 2NO_3^-$$

ويجمع المعادلتين:

$$2NH_4 + 4O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+$$

النايتروزوموناس والنايتروباكتر بكتريا ذاتية التغذية تحصل على طاقتها من اكسدة النتروجين وتحصل على الكاربون من ثنائي اوكسيد الكاربون. وهي بكتريا هوائية اجبارياً obligate aerobic لذا تتطلب العملية توافر مستوى جيد من الاوكسجين. بكتريا النتروزوموناس تنفذ الخطوة الاولى والتي هي اكسدة الامونيوم الى النتريت وبكتريا النايتروبكتر تنفذ الخطوة الثانية الاكسدة النهائية الى النترات. والخطوة الثانية من المعادلة تنفذ بسرعة عالية ولذا لايتجمع النتريت بكميات كبيرة في التربة والانواع الرئيسة في المحلول المائي في التربة هي النترات والامونيوم.عملية النترجة تتطلب الاوكسجين ولذا فإن التفاعل يحدث في الترب جيدة التهوية او المياه السطحية. ولكون عملية النترجة تنفذ من قبل بكتريا حية فإن سرعة التفاعل تعتمد بشكل كبير على العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والـpH.عند درجات حرارة اقل من 10 درجة مئوية يثبط التفاعل ويزداد التفاعل مع زيادة الحرارة من 10 الى 32 درجة مئوية.ودرجة التفاعل pH المثالية للنترجة بين 6.6 و8.0. والتفاعل يتباطئ عند pH اقل من 6.0 ويتوقف عند pH اقل من 4.5 (Marcel van der Perk,2006).

ان عملية النترجة تعد من العمليات المهمة وذلك لأنها تؤدي ايضاً الى خفض pH التربة من خلال ايونات الهيدروجين الناتجة عن هذه العملية وبالتالي التأثير في جاهزية المغذيات وتفاعلات الاسمدة. تأثير الاسمدة الامونياكية حامضي في التربة وحتى اليوريا يكون تأثيرها النهائي حامضي بسبب عملية النترجة. هذا التغير في درجة التفاعل pH يمكن ان يكون وقتي بسبب السعة التنظيمية (البفرية) العالية للترب الكلسية، الا انه مع هذا يمكن ان يكون له تأثير في وقت حدوثه لاسيما في منطقة المحيط الجذري (الرايزوسفير) وتتأثر جاهزية المغذيات بذلك ولو لمدة محدودة. ومع هذا ليس من السهولة مراقبة هذا التغير الا باستعمال بعض الاجهزة مثل الرايزوترون (جهاز يغرس جزء منه في المنطقة المحيطة للجذور ويتم مراقبة تغير الـpH بجهاز موضوع على الجزء الظاهر خارج

التربة من الجهاز. اما في الترب الحامضية فيحسب لهذا الموضوع حساب اكبر لزيادة حموضة التربة.

تجمّع النتريت NO_2^- لايكون كبيراً بسبب سرعة التحول نحو النتراتNO_3^-. النترات الناتجة من عملية النترجة يمكن ان تتعرض الى التفاعلات الاتية:

- الامتصاص من قبل جذور النباتات absorption.
- الاستهلاك من قبل الاحياء المختلفة في التربةImmobilization.
- الغسل نحو الاسفل Leaching.
- الفقدان بشكل غازات بعملية عكس النترجة Denitrification.

غسل النتراتNitrate leaching:

النترات (من الايونات السالبة الشحنة) ذائبة بالماء ولاتمسك من قبل مكونات التربة وهي عالية الحركة في التربة ولذلك فهي عرضة للفقدان بالغسل تحت المناخات الرطبة وغزارة هطول الأمطار والزراعة المروية لاسيما عندما تكون ظروف التربة الفيزيائية تسمح بذلك.

هذا الفقدان مهم من الناحية الاقتصادية والبيئية ويجب السيطرة عليه قدر الإمكان. وللتقليل من هذا الفقدان يمكن استعمال عدداً من الوسائل الادارية ومنها:

- استعمال أسمدة نتروجينية بطيئة التحرر: مثل سماد اليوريا المغلفة بالكبريت "Sulfur Coated Urea" (الحلي 2007). وذلك لكون ذوبانية الكبريت واطئة في الماء مما يقلل من ذوبانية اليوريا ومن ثم بقاءها في التربة لمدة اطول وزيادة في فرصة الاستفادة منها من قبل النبات. كما تتوافر مواد اخرى مثل اليوريا فورملديهايد يمكن ان تستعمل لهذا الغرض (علي،2012).

- استعمال مثبطات النترجة: مثل البيرميدين Pyrimidine او النايتروبايرين Nitrapyrine والذي يطلق عليه تجارياً N-Serve او مايسمى بخادم او حافظ النتروجين (Goh&Ali-1983) (والمختار وآخرون 2003) وهذه المواد متخصصة تعمل على تثبيط نشاط بكتريا النتروزوموناس ومن ثم توقف عملية اكسدة الامونيوم وتكون امينة الاستعمال بالنسبة للأحياء الاخرى. ان هذه العملية ستؤدي الى الابقاء على صورة الامونيوم ومن ثم زيادة في كفاءة استعمال الاسمدة النتروجينية الامونياكية لاسيما في الترب المتعادلة والحامضية.
- الإضافات المتكررة للنتروجين (تجزئة الإضافة الى دفعات): وهو ما يسمى بإضافة السماد بشكل يتماشى مع المتطلبات للمحصول وبما يتماشى مع مراحل النمو.

عملية فقدان النتروجين بشكل غازات او عكس النترجة:

عملية اختزال بايولوجي للنترات او تحول النترات من الشكل الذائب بالماء الى غازات النتروجين تحت الظروف غير الهوائية وبمساعدة بكتريا غير هوائية اختيارية هي Denitrifying bacteria، ومنها Pseudomonas وBacillus وتقوم هذه الاحياء باستعمال النترات مصدراً للأوكسجين وبالتالي تتحول النترات الى الاشكال التالية:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2\uparrow \rightarrow NO\uparrow \rightarrow N_2O\uparrow \rightarrow N_2\uparrow$$

وكما في الخطوات الاتية:

$$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow$$

$$2NO_2^- + 6e^- + 8H^+ + H_2O \rightarrow$$

$$2NO + 4e^- + 6H^+ + 4H_2O \rightarrow$$

$N_2O + 2e^- + 2H^+ + 5H_2O \rightarrow$

$N_2 + 6 H_2O$

وهذه العملية مهمة من الناحية البيئية والاقتصادية لأن التنروجين المفقود بشكل غازات اثرَ ويؤثر في طبقة الاوزون وقلل سمكها وبالتالي يزداد التأثير السلبي للأشعة الضارة في صحة البشر. الا ان شدة حدوث هذه العملية يعتمد على ظروف الاختزال وشدتها وتراكيز المواد القابلة للإختزال والظروف المشجعة لنشاط احياء التي تقوم بهذه العملية. غازات NO وN_2O هي من غازات الاحتباس الحراري او الغازات الدفيئة ولذ انبعاثها يساهم في الاحتباس الحراري Global warming (Marcel van der Perk, 2006) اما اقتصادياً فهي خسارة لصورة مهمة من صور النتروجين الجاهزة للأمتصاص من قبل النبات. وبالحقيقة النترات هي الصورة الاكثر تواجداً في محلول التربة بسبب التحول السريع للأمونيوم الى النترات بعملية النترجة. وهناك بعض المراجع التي تشير الى حدوث عملية الفقدان بشكل غازات حتى تحت الظروف الاختزالية الخفيفة مثل تحلل المواد العضوية بوساطة الاحياء المجهرية.

تثبيت النتروجين الجوي:Nitrogen Fixation:

النتروجين الجوي تستفيد منه النباتات اما من خلال التثبيت من خلال البرق او من قبل الأحياء المجهرية. والتثبيت من قبل الأحياء المجهرية يتم اما بشكل تعايشي او حر كما مبين ادناه:

= التثبيت التعايشي للنتروجين الجوي symbiotic N fixation:

وهذا التثبيت يحدث نتيجة معايشة تكافلية symbiotic association بين الاحياء المجهرية والمحاصيل البقولية. وتتم العملية بعد مهاجمة نوع من البكتريا تسمى رايزوبيا لجذور البقوليات وتكوين مايسمى بالعقدة الجذرية وهذة البكتريا تحول النتروجين الجوي الى امونيوم في داخل العقدة الجذرية وهنا يحدث

عملية تعايش او تبادل منفعة بين البقول والبكتريا وهناك بكتريا متخصصة لكل محصول بقولي.

البكتريا تقوم بالتثبيت بأستعمال انزيم النتروجنيز والـATP وهذه الطاقة مهمة لعملية التثبيت.ومن العوامل المهمة والمؤثرة في عملية التثبيت الـ pH ومستوى العناصر المغذية ولاسيما المغنيسيوم والفسفور والمولبدنم والكوبلت والحديد والبورون والنحاس(او بتعبير اخر كل العناصر المغذية تكون مهمة لعملية تثبيت النتروجين من قبل احياء التربة). وعملية التثبيت هذة تجعل من محاصيل البقول مهمة جداً ويجب ان لاتهمل في الدورات الزراعية للمحافظة على خصوبة التربة وتقليل التلوث البيئي الناجم عن إستعمال الاسمدة المعدنية. ولذلك تركز منظمة الغذاء والزراعة الدولية FAO على هذا الموضوع لأهميته البيئية (ابو الكلل 2000 والعارضي 1997) وينصح بشكل قوي على ضرورة تبني هذه الممارسات الادارية في الحقول الزراعية لزيادة خصوبة التربة وتقليل الكلف الاقتصادية والمحافظة على البيئة الذي اصبح الاهتمام بها الشغل الشاغل لضمان استمرار الحياة على كوكب الارض.

معظم انواع الرايزوبيا متوافرة في الترب والبيئة العراقية وفي حالة عدم توافرها يجب استعمال اللقاح المناسب (الذي يجدد كل ثلاث سنوات) كما هو الحال مع بكتريا الرايزوبيا المتخصصة على فول الصويا.والجدول 3 – 1 يبين الكميات من النتروجين التي من الممكن ان تثبت من قبل هذه الاحياء وهذه الكميات تختلف حسب المناخات المختلفة وحسب الظروف البيئية وظروف التربة والقيم الموجودة في الجدول تمثل معدل للمناطق المعتدلة.

وهناك التثبيت غير التعايشي او الحر او غير المعتمد على عائل متخصص التي تقوم به احياء مجهرية حرة المعيشة والتي تقوم بها احياء عدة منها لاهوائية واخرى هوائية وبشكل عام الكميات المثبتة لاتكون عالية بالقياس الى ما تقوم به الاحياء التعايشية إلا أن التأثير يكون بسبب التأثير الناتج عن الهرمونات النباتية

ومنظمات النمو التي تفرزها هذه الاحياء. ومن هذه الاحياء الحرة المعيشة الازوتوباكتر والازوسبيريليم Azotobacters وAzospirillum وهذه انواع من البكتريا حرة المعيشة تستطيع تثبيت النتروجين الجوي حيوياً في محاصيل الحبوب والمحاصيل الاخرى بدون عملية التكافل او التعايش او بالاحرى بدون نبات مضيف معين specific host plant مع انها تحتاج الى جذور النباتات. الازوتوباكتر تتواجد بشكل كبير في الترب جيدة البزل المتعادلة. ومع ان كمية النتروجين الجوي التي تستطيع تثبيته يختلف حسب النوع وحسب التربة والظروف البيئية المحيطة الا انها في المدى 15-20 كغم نتروجين $هـ^{-1}$ $موسم^{-1}$ (هذه الكميات تعد واطئة جداً بالنسبة للكميات التي تثبتها الاحياء التعايشية مثل الرايزوبيا). ومع هذا، هذه الانواع من البكتريا تستطيع انتاج مركبات مضادة للفطريات وتنتج منظمات نمو وهرمونات نباتية لها دور كبير في نمو النبات وهي تزيد من الانبات وتحسن من نمو النبات وانتاجه بشكل عام(الشيباني 2005 والخليل 2011).وهناك احياء اخرى مثبتة للنتروجين الجوي بشكل حر مثل الازولا والطحالب الخضراء المزرقة او السيانوبكتريا وهي مخصصة لتثبيت النتر وجين في حقول الرز ومن المهم التأكيد على ضرورة التوسع في الدراسات في هذا المجال وتبني هذه التقنية ونشر استعمالها في الحقول الزراعية.

جدول (3 – 1) كميات النتروجين التي تثبت بواسطة عدد من المحاصيل البقولية:

المحصول البقولي	كمية النتروجين المثبتة (كغم هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)	
	المدى	المثالي
Alfalfa (Lucerne) الجت (Medicago sativa L)	360-61	240
(Bean) الفاصولياء (Phasolus vulgaris L.)	97-24	48
Chickpeas الحمص (Cicer arietinum L.)	121-24	61
Clover البرسيم ((Trifolium pretense	360-61	182
Lentil (Lens culinar) العدس	157-48	73
Peanut فستق الحقل (Arachis hypogaea L.)	240-24	97
Pea البزاليا (Pisum sativum L.)	218-36	85
Soybean فول الصويا (Glycine max Merr.)	315-48	121

➢ **فحص نتروجين التربة:-**

فحص النتروجين الجاهز للنبات من الأمور الصعبة وهذه الصعوبة يأتي جزءاً منها لأن معظم النتروجين في التربة هو نتروجين عضوي يتعرض لدرجات مختلفة من التحولات المايكروبية (التحلل) لكي يتحول الى نتروجين جاهز وهذه العملية مستمرة الحدوث وتعتمد شدها على الظروف المحيطة. وعموماً فإن قياس

النتروجين الكلي يمكن ان يعطي نتائج جيدة يمكن الاعتماد عليها في عمليات إدارة التربة والنبات.

وهناك تقدير يعد اقرب للجاهزية والتي يتم من خلاله حضن هوائي incubation لعينات التربة لمدة 2 – 4 اسبوعاً تحت ظروف تقترب من المثالية لإعطاء فرصة للتحلل المايكروبي للجزء العضوي وبعدها يتم قياس النترات والامونيوم الا ان حاجة هذه الطريقة للوقت يحدد من انتشار استعمالها.

- تقدير النتروجين المعدني :-

- تقدير الامونيوم:

الخطوة المسيطرة على السرعة في معدنة النتروجين هو تحول النتروجين العضوي الى الامونيوم. تحول النتروجين (الامونيوم) الى النترات هي خطوة سريعة، ونتيجة لذلك الامونيوم لا يتجمع في الترب المعدنية جيدة التهوية. الترب المتغدقة وذات الحامضية العالية ($5.0 > pH$) او القاعدية ($8.0 < pH$) او استعمال مثبطات النترجة ممكن ان تؤدي الى توقف لعملية المعدنة عند تكون الامونيوم وتجمعه بكميات تفوق ما هو عليه الحال في الترب جيدة البزل والترب المعدنية.

- تقدير النترات :-

النترات شكل النتروجين الذي يستعمل بشكل أكثر شيوعاً بوساطة جذور النباتات وهناك اشارات من عدد من الباحثين الى ان تجمع النتروجين في المحاصيل خلال بدايات النمو ارتبط مع محتوى النترات في الترب.

الحد الحرج لنترات التربة هو التركيز الذي فوقه لا يتوقع استجابة المحصول او زيادة في الإنتاج مع التسميد الإضافي للنتروجين. لإنتاج الذرة الصفراء التركيز الحرج للنترات كان 18 – 26 ملغم N كغم$^{-1}$ لعمق 30 سم. إذا كان

تركيز النترات تحت او اقل من الحد الحرج، فان إضافة السماد النتروجيني يكون ضروري.

ونتيجةً للمحتوى الواطئ للترب العراقية من المادة العضوية، فإن المحتوى الكلي للنتروجين قليل جداً وتتراوح كمية النتروجين من 0.031٪الى 0.239٪ (من 0.31 – 2.39 غم كغم$^{-1}$تربة) وبمعدل 0.097 ٪ (0.9 غم كغم$^{-1}$تربة). وتكون كمية النتروجين الكلي اعلى في الترب الديمية بالقياس الى الترب المروية (الزبيدي وعلي، 1999)، ولذلك تعد الترب العراقية فقيرة بهذا المغذي المهم وكميته لاتسد حاجة معظم المحاصيل الزراعية. لذلك لابد من ضمان توفير مصادر لإمداد التربة بهذا المغذي لتحقيق انتاجية عالية لاسيما مع الزراعة الكثيفة والزراعة المحمية والاصناف عالية الانتاج.

– مصادر النتروجين السمادية:

تتوافر مصادر متعددة للنتروجين ومنها مصادر عضوية (مخلفات الاغنام والخيول والابقار وبقايا النباتات...) تعتمد على طبيعة المنطقة وظروفها ومصادر حيوية (المخصبات الحيوية) ومصادر معدنية (جدول 2.3).

وبشكلٍ مختصر فإن معظم الاسمدة النتروجينية المذكورة في الجدول هي مصادر جيدة لتجهيز النتروجين عدا الامونيا اللامائية (الامونيا الغازية) التي تتطلب تقنية خاصة وخبرة معينة في الاضافة وهي محدودة الاستعمال في الدول النامية. كلوريد الامونيوم هو الاخر محدود الاستعمال في الترب المتأثرة بالاملاح لإحتواءه على الكلور.هذا فضلاً عن ان الاسمدة الامونياكية (الحاوية على الامونيوم) يكون تأثيرها في التربة حامضي اما الاسمدة النتراتية (الحاوية على النترات فهي اما ذات تأثير متعادل او قاعدي ولذا تفضل في الترب المتعادلة، أما الترب المائلة الى القاعدية فيفضل فيها استعمال الاسمدة الحاوية على الامونيوم بشرط ان تضاف بشكل يقلل من فقدانها بالتطاير. طريقة إضافة السماد مهمة

ايضاً لاسيما الاسمدة الحاوية على الامونيوم عند إضافتها في فترة الانبات او الإضافة نثراً على السطح والتي تتطلب الحذر خوفاً من التأثير السلبي للأمونيا على انبات البذور او البادرات. ويشكلٍ عام يعد سماد اليوريا من بين اكثر المصادر استعمالاً لرخص ثمنه ومواصفاته الخزنية الجيدة، ولتصنيعه في العديد من الدول ومنها العراق. اذ ان هناك مصنع لليوريا في جنوب العراق في محافظة البصرة وآخر في وسطه في محافظة صلاح الدين في بيجي. وتعد اليوريا المصنعة محلياً من افضل انواع اليوريا لاسيما لما له علاقة بمحتواها من البيوريت (المادة الناتجة من اتحاد جزيئتين يوريا مع فقد جزيئة امونيا) والتي يجب ان لاتتجاوز نسبتها في اليوريا المضافة ارضياً عن 1.5٪ و0.25 ٪ عند الرش على الاوراق لاسيما الحمضيات (علي،2012). وهناك الاسمدة المركبة التي تحوي على اكثر من عنصر مغذي مثل فوسفات اليوريا وفوسفات ثنائي الامونيوم DAP والسماد المركب الحاوي على النتروجين والفسفور والبوتاسيوم وتحوي عناصر صغرى ايضاً وهذه الاسمدة اثبتت نجاحها في الزراعة العراقية.

جدول (3 – 2): بعض الاسمدة النتروجينية شائعة الاستعمال:

المصدر	%						
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	S	Cl	الحالة الفيزيائية
الامونيا غير المائية Anhydrous ammonia	82						غاز
الامونيا المائية Aqua ammonia	25-20						سائل
كبريتات الامونيوم Ammonium Sulfate	21				24		صلب
فوسفات احادي الامونيوم Mono	11	55-48		2.0	3-1		صلب

%							
الحالة الفيزيائية	Cl	S	CaO	K_2O	P_2O_5	N	المصدر
							Ammonium Phosphate (MAP)
صلب					54-46	21-18	فوسفات ثنائي الامونيوم Di Ammonium Phosphate (DAP)
صلب					44	18	فوسفات ثنائي الامونيوم (ماكنوم)
					18	10	السماد المركب NP
				15	15	15	السماد المركب NPK
صلب	66					25	كلوريد الامونيوم Ammonium Chloride
صلب						46	اليوريا Urea
صلب					44-43	17	اليوريا فوسفات Urea-Phosphate
صلب			34			15	نترات الكالسيوم Calcium Nitrate
صلب	1.2	0.2	0.5	44		13	نترات البوتاسيوم Potassium Nitrate
هذا فضلاً عن الاسمدة السائلة الحاوية على النتروجين سويةً مع المغذيات الاخرى والتي معظمها تستعمل للرش على الاوراق							

مراجع مهمة:

- Barker, Allen V. & Bryson, Gretchen M. (2007) Nitrogen.in Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
- Goh, K.M & N. S. Ali. 1983.Effects of N fertilizers & Calcium & water regime on the incidence of cavity spot ion carrots Fertilizers Research 1983.4:223-230
- Havlin ،J .L.; Beaton, J.D.; Tisdale ،S.L .& Nelson ،W.L. (2005). Soil fertility & Fertilizers"An Introduction to Nutrient Management" 7th Ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Perk, Marcel van der.2006.Soil and Water Contamination. Taylor & Francis. London.
- الخليل، شيرين مظفر ونورالدين شوقي علي.2009. تأثير التسميد المتكامل في انتاجية محصول الطماطة المزروع في البيوت البلاستيكية ومحتواه من النترات. المجلة العراقية لعلوم التربة المجلد(9) العدد(1) 167 – 175. مقبول للنشر عام 2011 وتم نشره في هذا العدد لأسباب فنية تتعلق بالمجلة.
- ابو الكلل، بسام كنعان.2000. تأثير الفسفور وكل من الكوبلت والمولبدنم في نشاط بكتريا العقد الجذرية
- (Rhizobium leguminosarum) ونمو نبات الفاصولياء وحاصله.رسالة ماجستير. قسم علوم
- التربة والمياه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.74 صفحة.
- الزبيدي، احمد ونورالدين شوقي علي 1999. جزء من دراسة القيت في الندوة العلمية لاتحاد المهندسين الزراعيين العرب، دمشق – سوريا.
- الشماع، سحر ضياء.1997. تثبيط عملية النترجة في الترب المعاملة بالنفط الاسود ومبيد الاترازين. رسالة ماجستير.قسم علوم التربة –كلية الزراعة – جامعة بغداد.

- الشيباني، جواد عبد الكاظم كمال.2005. تأثير التسميد الكيمياوي والعضوي الإحيائي (الفطري والبكتيري) في نمو وحاصل نبات الطماطة. أطروحة دكتوراه، كلية الزراعة جامعة بغداد.121 صفحة.
- العارضي، تركي مفتن. 1997. استجابة الحمص والعدس للتلقيح بسلالات واعدة من البكتريا العقدية المتخصصة. اطروحة دكتوراه. قسم علوم التربة – كلية الزراعة –جامعة بغداد.
- علي، نور الدين شوقي 2012 تقانات الاسمدة واستعمالاتها. جامعة بغداد. تحت النشر
- المختار، منذر وندى حميد مجيد ونورالدين شوقي علي.1993. دور النايترويايرين N-Serve في تثبيط عملية النترجة وتحسين الكفاءة السمادية لليوريا وكبريتات الامونيوم. مجلة العلوم الزراعية العراقية العدد 1 المجلد 24.1993 : 23 – 32.

الفصل الرابع

الفسفور

Phosphorus (P)

- دور الفسفور وفعالياته في النبات
- تشخيص نقص الفسفور
- طبيعة وتحولات فسفور التربة
- العوامل المؤثرة في جاهزية الفسفور
- التقويم الخصوبي للفسفور
- فحص التربة للفسفور
- مصادر الفسفور السمادية
- المصادر



الفصل الرابع

الفسفور

Phosphorus (P)

يطلق على الفسفور مفتاح الحياة لدوره المباشر في معظم العمليات الحيوية التي تجري داخل النبات والكائنات الحية بشكلٍ عام والتي لاتتم بدونه.

دور الفسفور وفعالياته في النبات:

النبات يمتص صور الفسفور التي تكون بأشكال الاورثوفوسفات $H_2PO_4^-$و$HPO_4^=$ اعتماداً على درجة تفاعل وسط النمو (pH). ومع هذا، تحت ظروف معينة يستطيع النبات امتصاص الفوسفات العضوية الذائبة، المتضمنة الاحماض النووية. جزء من الفسفور غير العضوي الممتص يرتبط بشكل سريع الى جزيئات عضوية عند الدخول الى الجذور او بعد انتقاله الى الاجزاء العليا (اجزاء النبات فوق سطح التربة) ومن هذه المركبات الأسترات ومركبات غير مائية ثابتة بالماء مهمة في خزن الطاقة ونقلها في العمليات الكيموحيوية في النبات. والامثلة على ذلك الإدي نوسين داي فوسفات والإدينوسين تراي فوسفات (ADP وATP) او المرافقات الانزيمية $NADH_2$ او $NADPH_2$. عند تحول ATP الى ADP تتحرر كمية من الطاقة تعادل 10^{-7} كيلوسعرة بينما يحتوي واحد من الـ $NADH_2$ او $NADPH_2$ على 52 كيلوسعرة. الفسفور كذلك اساسي في الـ DNA والـ RNA التي تحوي الشفرة الوراثية للنبات لإنتاج البروتين والمركبات الاخرى الاساسية لنمو النبات وإنتاج البذور والتحولات الوراثية. الفسفور يشجع ايضاً نمو الجذور ويشجع نضج مبكر للمحاصيل لاسيما محاصيل الحبوب. الفوسفات العضوية وغير العضوية في النباتات ايضاً تعمل كبفر(مادة منظمة) للمحافظة على pH الخلية. الفسفور الكلي في النسيج النباتي يتراوح بين 0.1-1.0 ٪ والاكثر شيوعاً المدى 0.2-0.5 ٪، ويشكل كبير اقل من النتروجين والبوتاسيوم.وعموماً النبات المثالي ممكن ان يحوي 0.004 ٪ P بصورة DNA (ديوكسي نيوكليك

اسد) و0.04 % بصيغة RNA رايبونيوكليك اسد و0.03% فسفور دهني و0.02 %ايستر P و0.13 % فسفور معدني (غير عضوي).

ATP = Adenosine Tri Phosphate

ADP= Adenosine Di Phosphate

$NADH_2$ = Nicotinemide Adnine Dinucleotide

$NADPH_2$= Nicotinemide Adnine Dinucleotide Phosphate

- تشخيص نقص الفسفور:

نقص الفسفور يوقف او يؤخر النمو والنضج، ومع ان النباتات التي تعاني من نقص الفسفور تبدو مضغوطة في شكلها فأنها لاتظهر العلامات الواضحة للنقص التي تظهر بنقص العناصر الاخرى ومع هذا هناك تداخل كبير بين نقص الفسفور والعناصر الأخرى. اوراق النباتات والسيقان تكون احياناً خضراء داكنة وغالباً تظهر لون احمر او بنفسجي عندما يكون المناخ بارد فأن اللون البنفسجي يمكن ان يحدث نتيجة لنقص النتروجين كما يلاحظ على نباتات العائلة الصليبية Brassica او مع نقص الفسفور. النباتات المتزاحمة والمنضغطة بسبب نقص الفسفور غالباً تحوي اوراق صغيرة داكنة الخضرة وسيقان رفيعة وقصيرة. النقص المستمر من الفسفور ممكن ان يؤدي الى حجم ثماراصغر وكمية محدودة من كتلة محاصيل الخضر عند الجني. ولكون الفسفور متحرك داخل النبات فأنه ينتقل بشكل ميسرمن الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة عند حدوث النقص وتلاحظ علامات النقص (عدم التلون والتحرق) على الاوراق القديمة احياناً. وعموماً فإن معظم الترب تنظم الفسفور المضاف لها ونادراً ماتحدث سمية مباشرة. ومع هذا، معظم علامات زيادة الفسفور يمكن ان تكون من خلال احتمالية التسبب في نقص في العناصر المغذية الصغرى ولاسيما Zn او Cu وFe.

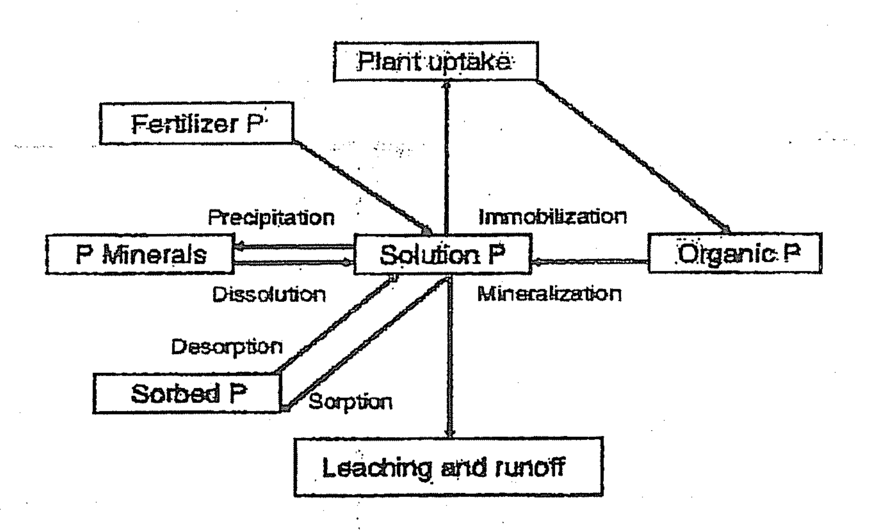
➢ طبيعة وتحولات فسفور التربة:

تحوي الترب على مركبات فسفور عضوية وغير عضوية وان معظم المركبات العضوية تشتق من بقايا النباتات وخلايا الاحياء المجهرية والنواتج الحيوية. وهناك 1٪ من الفسفور العضوي في جزء الفوسفولبيدات و5-10٪ من احماض نووية او منتجات متحللة وحوالي 60٪ بشكل انوسيتول فوسفيت inositol phosphate و5 – 10٪ على شكل احماض نووية nucleic acids و1٪ فوسفولبيدات phospholipids وهناك جزءً مهماً من اجزاء الفسفورالعضوي للتربة غير معرف. الفوسفولبيدات والاحماض النووية التي تدخل التربة تتحلل بسرعة بوساطة احياء التربة المجهرية. الجزء الاكثر استقراراً والاكثر وجوداً من مكونات او اجزاء الفسفور العضوي هو انوسيتول فوسفات (فوسفات الانوسيتول Inositol phosphate). انوسيتول بولي فوسفات عادة ترتبط مع جزيئات ذات وزن جزيئي عالي استُخلصت من التربة مما يشير الى انها مكونات اساسية للدبال (الهيومسHumus)، وان التربة عادة تحوي مدى واسع من الاحياء المجهرية القادرة على تحرير الاورثوفوسفات غير العضوي (المعدني) من الفسفور العضوي من النباتات والاصل المايكروبي. الظروف المشجعة لنشاط هذه الاحياء مثل الحرارة المناسبة والـpH قريب من المتعادل ايضاً تقوم بتشجيع المعدنة للفسفور العضوي في الترب. الانزيمات التي تشترك في فصل الفسفور من الوسط العضوي تسمى بشكل عام الفوسفتيز phosphatase. الاحياء المجهرية تنتج انواع من انزيم الفوسفتيز التي تحول الفوسفات العضوية الى معدنية. وعموما تكون النسب في مواد التربة العضوية بين C : N : P : S بحدود 140 : 10 : 1.3 : 1.3.

عموماً عملية المعدنة للفسفور العضوي تشبه معدنة النتروجين العضوي وتتم بمساعدة انزيم الفوسفتيز ووجود الاحياء المجهرية المختلفة، ونسبة P:C ممكن ان تكون دليل للمعدنة او التثبيت، ويمكن توضيح ذلك كما يأتي:-

P:C	المعدنة / التثبيت في أجسام الأحياء المجهرية
اقل من 200	المحصِّلة معدنة للفسفور العضوي
من 200-300	اتزان بين عمليتي المعدنة والتثبيت
أعلى من 300	المحصِّلة تثبيت في أجسام الأحياء

الفسفور المتحرر الى محلول التربة من معدنة المادة العضوية من المحتمل ان يمثل من قبل الاحياء المجهرية ويمتص بوساطة جذور النباتات وينتقل الى جزء الفسفور المعدني اوالى نسبة اقل من ذلك (نسبة قليلة جداً) يفقد بالغسل والسيح(الجريان السطحي) (الشكل 1.3). كمية الفسفور المفقود عن طريق الغسل وبشكل ادق بعيد عن منطقة الجذور تعد قليلة جداً بالقياس الى العناصر الاخرى لاسيما النتروجين.



الشكل (3. 1) دورة الفسفور في الترب الزراعية

الفسفور وكما هو الحال للنتروجين يتعرض للمعدنة والتثبيت في اجسام الاحياء والفسفور المعدني المتحرر يعتمد على تركيز الفسفور للمواقع التي تكون تحت التحلل ومتطلبات الفسفور للاحياء المجهرية النشطة. بالإضافة الى المعدنة والتثبيت في أجسام الاحياء المجهرية للفسفور، فإن المادة العضوية لها تأثيرات غير

مباشرة واحياناً غير دائمية او مستمرة في تفاعلات الفسفور. اذ تشير المراجع الى ان هناك علاقة ارتباط موجبة بين عملية التحلل للدبال او التدبل وسعة امتزاز الفوسفات واستنتج عدداً من الباحثين ان سعة امتزاز المادة العضوية للفوسفات تكون معدومة او قليلة جداً. لقد لوحظ بشكل شائع ان المادة العضوية تعيق امتزاز الفوسفات وتزيد اوتشجع الجاهزية. الاحماض الدبالية والاحماض العضوية الاخرى غالباً تقلل تثبيت الفسفور من خلال تكوين المعقدات (المخلبيات) مع الحديد والالمنيوم والكالسيوم والايونات الموجبة الاخرى التي تتفاعل مع الفسفور وتثبته. دراسات اخرى بينت ان الفوسفات العضوية تكون اكثر حركة من المصادر غير العضوية. ومع هذا فإن التداخل بين اجزاء الفسفور العضوية وغير العضوية لم يفهم بشكل جيد. وعموماً افترض بان جاهزية الفسفور للنباتات يسيطر عليها باجزاء الفسفور المعدني مع ان مساهمة الجزء العضوي يجب ان لايلغى بشكل كامل.

الفسفور المعدني الذي يدخل محلول التربة من خلال المعدنة او اضافة الاسمدة يتحول بسرعة الى اشكال اقل جاهزية وان الامتزاز والترسيب هي التفاعلات التي تقلل من هذه الجاهزية. امتزاز الشكل المعدني للفسفور من محلول التربة يرتبط بشكل قوي بوجود الحديد الاموري في (غير المتبلور) واكاسيد الحديد والاكاسيد المائية، وكميات معادن الكاربونات ($CaC0_3$). الاكاسيد المائية واكاسيد الحديد والالمنيوم غالباً ماتتواجد بشكل اغلفة على اسطح معادن الطين، وهذه الاغلفة هي المسؤولة بشكل كبير عن امتزاز الفسفور على الجزء الطيني في الترب. حتى في الترب الكلسية، الاكاسيد المائية اشير اليها بأنها مهمة في امتزاز الفسفور.

في الترب الكلسية، امتزاز الفسفور (الفوسفات) الى $CaCO_3$ يمكن ان يساوي او حتى اكثر اهمية من الامتزاز على اكاسيد الحديد والالمنيوم. في تجارب مختبرية مع الكالسايت النقي اشار عدداً من الباحثين الى ان التفاعل بين الفسفور وكاربونات الكالسيوم يتكون من امتزاز اولي يتبع بترسيب عند زيادة تركيز

للفسفور. امتزاز الفسفور يمكن ان يحدث جزءَ منه بشكل طبقات متعددة على مواقع معينة لأسطح الكالسايت. بتقدم الامتزاز واستمراره، يحدث تداخل جانبي بين الفسفور الممتز وبالنهاية مكوناً مايشبه العناقيد (clusters). هذه العناقيد تعمل كمراكز لانوية (جمع نواة) غير متجانسة لبلورات فوسفات الكالسيوم على اسطح الكالسايت، امتزاز الفسفور من المحتمل ان يتحدد مع تراكيز الفسفور الواطئة الأولية والترسيب يبدو انه ميكانيكية اكثر اهمية في ازالة الفسفور من محلول التربة في التراكيز الاعلى. بالاستعانة بالاشعة السينية تم تشخيص قائمة غير مكتملة من انواع مركبات الفوسفات كنواتج تفاعل متكونة عند اضافة الاسمدة الفوسفاتية الى التربة تعتمد بشكل رئيسي على الايونات الموجبة المتواجدة، درجة تفاعل (pH) محلول التشبع وكمية الاسمدة الفوسفاتية المضافة، والخصائص الكيميائية للتربة. في الترب الحامضية تكون مركبات الحديد والالمنيوم هي المسؤولة عن ترسيب الفسفور اما في الترب الكلسية فعلى الغالب ان معظم الاسمدة الفوسفاتية المضافة ستترسب في التربة بشكل $CaHPO_4.2H_2O$ (DCPD) (داي كالسيوم فوسفيت داي هايدريت) وداي كالسيوم فوسفيت $CaHPO_4$ (DCP). هذه النواتج متوسطة الاستقرار وتتعرض الى تحول بطيء الى مركبات مثل اوكتاكالسيوم فوسفيت $Ca_8H(PO_4)_6.5H_2O$ (OCP) وتراي كالسيوم فوسفيت $Ca_3(PO_4)_2$ (TCP) او الى احد اشكال الابتايايت $Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$ (مع ان الابتايت لايتكون بسهولة بسبب الاضافات المستمرة للفوسفات). كما تمت الاشارة انفاً فان تحولات الفسفور في التربة معقدة وغالباً غير مفهومة. ومع هذا وبشكل عام فأن الفسفور المضاف الذي لا يمتصه النبات او الفائض عن الامتصاص سيتعرض الى عمليات الامتزاز والترسيب او التي يطلق عليها بعمليات الاحتفاظ للتربة بالفسفور p- retention. وعملية الترسيب هذه تعتمد بشكل رئيسي على درجة تفاعل التربة (Soil pH)، اذ ان الترسيب في الترب الحامضية يكون على هيئة فوسفات الحديد والالمنيوم، اما في الترب القاعدية فيكون على شكل فوسفات الكالسيوم. وتوضيح لذلك فإن السماد الفوسفاتي الذي صيغته $Ca(H_2PO_4)_2$ (MCP فوسفات الكالسيوم الاحادية) المضاف الى تربةٍ كلسية

سيتحول الى معادن الفوسفات وسلسلة الترسيب في الترب الكلسية والقاعدية تكون كما في المخطط الآتي:

الاسم	الاختصار	الصيغة
Di Calcium phosphate Di hydrate	DCPD	$CaHPO_4.2H_2O$
Di Calcium phosphate	DCP	$CaHPO_4$
Octa Calcium phosphate	OCP	$Ca_8H(PO_4)_6.5H_2O$
β – tri Calcium phosphate	β- TCP	$Ca_3(PO_4)_2$
Hydroxy apatite	HA	$Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$
Fluorapatite	FA	$Ca_{10}(PO_4)_6F_2$

بتعبير اخر انه خلال اسابيع يتحول من MCP الحاوي على الفسفور بصيغة ($H_2PO_4^{1-}$) (الاحادي) الى DCPD وDCP الحاوي على الفسفور بصيغة (HPO_4^{2-}) وبعد حوالي 3-5 شهور يتحول الى OCP وبعد عشرة شهور الى BTCP ويأخذ مدة اطول من الزمن ليصل الى HA وFA والفسفور في المركبات الاخيرة يكون بشكل (PO_4^{3-}). ان هذه التفاعلات يصعب السيطرة عليها، ولذا فان كمية الفسفور المسترد او الممتص من قبل النبات من السماد المضاف او مايسمى بكفاءة استعمال السماد FUE (على اساس الممتص من الفسفور المضاف) للفسفور تكون واطئة باستمرار بالقياس الى الاسمدة الاخرى. فقد وجد علي 1997 ان كفاءة استعمال السماد الفوسفاتي PUE لم تزد عن 2.5٪ في محصول الجت المزروع في تربة كلسية (علي 1997) عند استعمال سماد السوبر فوسفات الثلاثي، اما النسب التي حصل عليها الجوذري 2011 فكانت 10و15 و20٪ لمحصول البطاطا المزروع في تربة كلسية تحت انظمة ري المروز والري بالرش والتنقيط على التوالي وباستعمال سماد اليوريا فوسفات الذائبة 100٪ بالماء والاضافة للسماد بطريقة الاضافة بطرائق مختلفة وكانت الاضافة مع الري بالتنقيط هي الأكفا.

عملية الأمتزاز Sorption (تشمل الأمتزاز السطحي الإمتزاز غير النوعي او الامتزاز الفيزيائي والامتصاص الى داخل الوحدات البنائية "الامتزاز النوعي")، وهذه العملية تحدث على الاسطح الحاوية على الايونات الموجبة ولاسيما الكالسيوم والمغنيسيوم واسطح كاربونات الكالسيوم (معادن الكاربونات بشكل عام) وحتى الكميات القليلة من الحديد الموجودة في الترب الكلسية تسهم في عملية الامتزاز. كذلك اسطح معادن الطين مهمة جداً، نوع المعدن الطيني والمساحة السطحية للمعدن تؤثر في هذه العملية.

وبشكل عام قوة الربط بين الفوسفات واكاسيد الحديد والالمنيوم تكون عالية بالقياس الى قوة الربط مع معادن الكاربونات التي تكون واطئة (علي واحمد، 2000)، ولذا فان جزء كبير من الفسفور الممتز في الترب الكلسية يكون في الجزء القابل للتجهيز او القابل للتغير(Labile–Form). بتعبير نسبي الترب الحامضية تمتز مرتين فسفور اكثر لكل وحدة مساحة سطح ترية مما هو عليه في الترب الكلسية او المتعادلة وبقوة ربط اعلى خمس مرات. ولذا يشير علي 1997 الى انه وعلى الرغم من ان سعة حجز الفسفور (التي تشمل الامتزاز والترسيب) كانت عالية في الترب الكلسية الا ان النبات النامي استطاع الاستفادة من الفسفور المحتجز.

➢ معادلات امتزاز الفوسفات:

هذه المعادلات تفيد بشكلٍ عام في الاستشراف (التنبؤ) حول قابلية التربة على إمتزاز الايونات المختلفة ومن ثم التعرف على قابلية التربة للحجز والاحتفاظ بهذه الايونات (السليفاني، 1993 وعلي،1997 وعلي واحمد 2000).

واهم المعادلات التي استخدمت في مجال وصف امتزاز الفوسفات:

- معادلة لانكمير Langmuir equation والتي صيغتها:

$$X= kbc /(1+kc)$$

والشكل الخطي لهذه المعادلة هو $C/X=(1/kb)+(1/b)\ C$ والتي فيها C يمثل تركيز ايون الفوسفات في المحلول (ملغم P لتر$^{-1}$) وX كمية الفوسفات الممتزة لكل وحدة وزن تربة (ملغم P كغم$^{-1}$ تربة) وk ثابت يمثل طاقة الربط وb ثابت يمثل سعة الامتزاز القصوى او مايعبر عنه بـX_m وهناك معادلات اخرى كمعادلة فريوندايش او فروندليخ Freundlich equation والتي صيغتها الخطية:

$$Ln\ X = lna+1/n\ lnC$$

وهنا C وX هي نفسها المشار اليها آنفاً في معادلة لانكمير اما ثوابت المعادلة a و n فيمثلان سعة الامتزاز (الكمية) وطاقة الامتزاز (الشدة) على التوالي. وتعد من المعادلات التي وصفت الفوسفات بشكل جيد في الترب المختلفة ومنها ترب العراق (السليفاني، 1993 وعلي واحمد،2000). وهناك معادلات اخرى يمكن التعرف عليه من خلال مراجعة علي واحمد (2000). ومن خلال تطبيق هذه المفاهيم تم التوصل الى ان الترب العراقية وعلى الرغم من امتلاكها لسعة امتزاز عالية الا ان قوة الربط ضعيفة ومن ثم فإن الفسفور المحتجز معظمه يقع ضمن الفسفور القابل للتجهيز.

➢ استخدام المعادلات الحركية لوصف تفاعلات الفوسفات (الامتزاز والتحرر sorption & release):

تمت الاستعانة بمفهوم الحركيات لفهم تفاعلات المغذيات ومنها الفسفور في بعض الترب ولمعرفة سرعة التفاعلات والمصير التي ستنتهي اليه. وتم الاعتماد

على فرضية ان نظام التربة والنبات عبارة عن نظام حركي بالغالب ولاسيما ما يتعلق بتفاعلات المغذيات. وتم استعمال عدداً من المعادلات الحركية بعضها ذات اساس كيميائي مثل معادلة الرتبة الاولى 1st order kinetic equation ومعادلة الرتبة الثانية 2nd order ومعادلات تجريبية مثل معادلة دالة القوى او المعادلة الاسية Power function ومعادلة الانتشار وايلوفيج. وبينت معظم الدراسات المنفذة في العراق ان معادلة دالة القوى والرتبة الاولة كانت من افضل المعادلات في وصف امتزاز وتحرر الفوسفات في التربة. ومن هذه المعادلات يمكن ايجاد سرعة امتزاز او سرعة التحرر والاستفادة منها في البرامج التسميدية لاسيما موضوع الإضافات السمادية (علي واحمد،2000).

جاهزية الفسفور غالباً ما توصف بمفاهيم ومصطلحات عامة مثل (أ) فسفور محلول التربة، وغالباً يعرف بأنه عامل الشدة Intensity (I) او (ب) الفسفور الجاهز او القابل للتجهيز او الفسفور في الجزء القابل للتغير Labile-P والتي يعرف بعامل الكمية Quantity (Q) و(جـ) الفسفور الممتز في الجزء غير القابل للتغير Non-Labile P. الفسفور في الجزء القابل للتغير يمكن ان يشمل الفسفور العضوي القابل للتمعدن بسهولة والفسفور الممتز بطاقة واطئة والفسفور المعدني الذائب. الفسفور في الجزء غير القابل للتغير من الممكن ان يشمل الفسفور العضوي المقاوم للتحلل والفسفور الممتز بطاقة عالية ومعادن الفسفور غير الذائبة نسبياً. عندما يمتص النبات الفسفور من محلول التربة، فانه يجدد من الجزء القابل للتغير والتي يجهز بشكل بطيء جداً من الجزء غير القابل للتغير. قابلية التربة البفرية او التنظيمية phosphorus buffering capacity) PBC او ^{P}BC) والتي تعرف بعامل السعة يسيطر على توزيع الفسفور بين هذه الاجزاء.

❖ اجزاء فسفور التربة:

يقسم فسفور التربة الى جزئين احدهما معدني inorganic–P والاخر عضوي organic. الفسفور المعدني يمكن تقسيمه من وجهة نظر تغذية النبات او الجاهزية للنبات الى الاقسام الاتية:

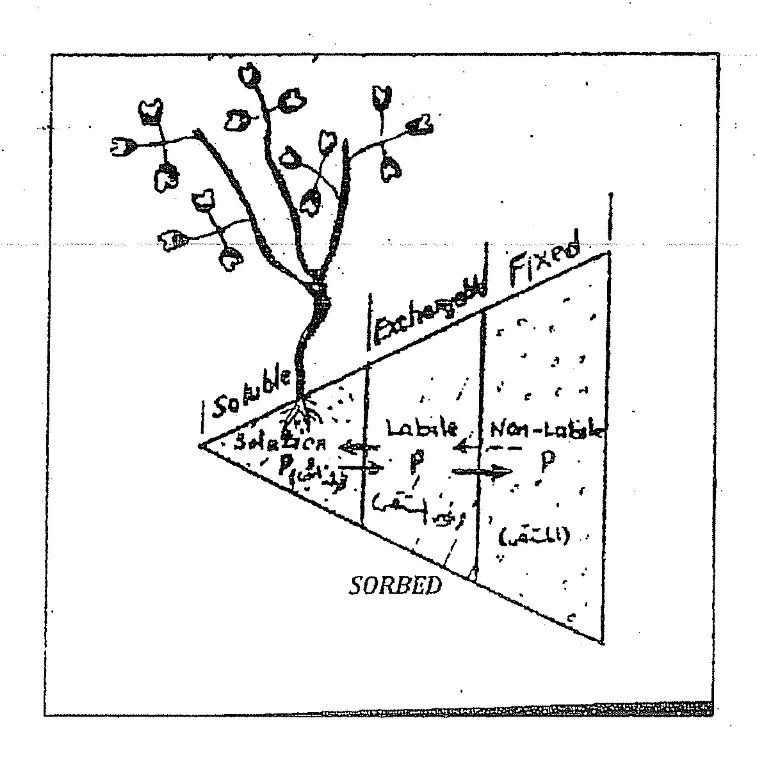
- الفسفور الذائب Solution P: ويمثل الفسفور الذي يمكن استخلاصه بالماء المقطر او بمحلول 0.01 مولاري من كلوريد الكالسيوم او 0.01 مولاري كلوريد البوتاسيوم وبنسب تربة الى ماء او محلول ملحي مخفف تتراوح بين العجينة المشبعة الى نسب 10:1 تربة: محلول (Olsen & Sommers, 1982). وهو جاهز بشكل مباشر الا ان تركيزه قليل جداً (0.3-3 جزء بالمليون او 0.3 – 3.0 ملغم لتر$^{-1}$). والفسفور في هذا الجزء يكون على هيئة الاورثوفوسفات الثنائية والاحادية ($H_2PO_4^{-1}$, HPO_4^{2-}). يمتص النبات الاورثوفوسفات الاحادية H_2PO^{1-} بسرعة تقدر بعشرة اضعاف امتصاص (HPO_4^{2-}). النسبة بين $H_2PO_4^{1-}$ و HPO_4^{2-} تعتمد على درجة التفاعل pH وتتساوى عند الرقم 7.22، ويعد الفسفور الذائب بالماء مؤشراً للجاهزية الحيوية لأنه الوسط التي تأخذ منه النباتات الراقية احتياجاتها.
- الفسفور القابل للتجهيز (الفسفور القابل للتغير) (Labile-P): وهو الفسفور الممتز على الاسطح المختلفة للتربة ويمكن ان يتحرر الى المحلول. ويكون هذا الجزء بإتزان مع الفسفور الذائب ويقوم بتعويض النقص في الفسفور الناجم عن امتصاص جذور النباتات وهو ممثل جيد لما يعرف بالكمية Q وهو مهم جداً في تغذية النبات، فضلاً عن الفسفور الذائب بالماء. وعلى الرغم من عدم وجود طريقة معبرة بشكل جيد لهذا الجزء من الفسفور ولكل الترب، الا انه اقترحت العديد من الطرائق للإستخلاص لتلائم الترب المختلفة ومن هذه الطرائق استعمال رانتجات التبادل للأيونات السالبة Anion Exchange Resins (الطوقي 2000)، او قياس الفسفور المتبادل مع النظائر. اما الطرائق الاكثر شيوعاً فهي استعمال المستخلصات الكيميائية Chemical Extractants

والـذي اذا مـا اختبرت بشكل سليم ستكون معبرة عن الفسفور الجـاهز الـذي يحاكي الفسفور التي تستطيع جذور النباتات امتصاصه. ومـن المستخلصات الـتي اثبتـت نجاحهـا في الـترب الكلسـية مسـتخلص بيكاربونـات الصـوديوم او طريقـة اولسن التقليديـة واثبتت نجاحها في الترب الكلسية مـن خلال علاقة الارتباط العالية بين قيمها ونمو المحصول (علـي 1997 وعبدالرسول 1998)، وهناك طرائق اخرى تناسب الترب الاخرى..

- الفسفور بطئ الجاهزية (الفسفور غير القابـل للتغير): ويكون قليـل الذوبانية الى قليل جداً لاسيما عند تحوله الى صخر الابتايت. وهـذا الجـزء يمثـل حالـة الفسفور المتبلور او المتحول الى درجاتٍ مختلفة مـن التبلـور والفسفور العضوي في الاجـزاء بطيئـة التحلـل. ان اسـتفادة النبـات مـن هـذا القسـم قليلـة جـداً بالقياس الى الاجزاء الاخرى.

وبشكل عام الفسفور الجاهز للامتصاص من قبل النبات عبارة عـن الفسـفور الذائب بالماء(فسفور محلول التربة) وجزء من الفسفور القابل للتجهيز والذي يمثـل الفسفور الممتز علـى الاسطح المختلفـة في التربـة (اسـطح معـادن الطـين والكاربونـات والمادة العضوية) او الفسفور المترسب الا انه لا يـزال في مراحـل وسـطية ولم يصـل الى المستوى المتقدم من الترسيب.

العلاقة بين اقسام الفسفور الثلاث التي ذكرت آنفاً يمكن ان يعبر عنها بالشكل الاتي:



عمليات الامتزاز والترسيب هذه تؤثر بشكل كبير في ادارة الاسمدة الفوسفاتية ابتداءً من اختيار السماد الفوسفاتي وطرائق اضافته وتجزئة الاضافة لاسيما في الترب ذات القابلية التثبيتية العالية للفسفور high fixing soils.

➢ العوامل المؤثرة في جاهزية الفسفور:

- معادن التربة:

تتأثر جاهزية الفسفور في التربة بنوع المعادن السائدة فيها. اذ ان عمليات الامتزاز والترسيب تتأثر بشكل كبير بالمعدن السائد في التربة. وعموماً المعادن الحاوية على اكاسيد الحديد والالمنيوم تكون ذات امتزاز وترسيب عالي للفسفور من حيث الكمية وقوة الارتباط اما معادن الكاربونات فهي تمتز كميات عالية من الفسفور ولكن بقوة ربط اقل بالقياس الى اكاسيد الحديد والالمنيوم. اما معادن الطين فتختلف حسب نوع المعدن وكميته. فمعادن 1:1 (مثل الكاؤلنايت) اكثر

امتزازاً ومسكاً للفسفور من معادن 1:2 (مثل المونتمورلنايت) وهذا من حيث النوعية اما من حيث الكمية فأن زيادة كمية المعدن الطيني بشكل عام تزيد من قابلية المسك او الامتزاز. اذ ان مصادر الشحنات في معادن 1:1 ناتجة عن تكسر الحواف والمعتمدة على الـpH وبالتالي ذات قوة ربط عالية اما معادن 1:2 فمصادر شحناتها هي الاستبدال التناظري.

- **زمن التفاعل:**

يتحول الفسفور مع الزمن الى الاشكال الاقل ذوباناً نتيجةً للامتزاز والترسيب. اذ ان نمط وطبيعة تفاعل الفسفور مع التربة يكون بشكل سريع في البداية يتبعه تفاعل بطئ. ويمثل التفاعل الاول الامتزاز ومن ثم هناك مرحلة مايسمى فترة الحث induction period بعدها تحدث عملية الترسيب التي يتحول فيها الفسفور الى معدن الابتايت كما اشير الى ذلك انفاً. ولذا مع الزمن يتحول الفسفور الى صور اقل ذوباناً وجاهزية وبالنهاية الى صور صعبة الجاهزية (علي واحمد، 2000).

- **المادة العضوية للتربة:**

تعمل على تقليل امتزاز الفسفور او تزيد من جاهزيته من خلال:

1) الاحماض العضوية التي تنتج عن تحلل المواد العضوية مثل السترات والاوكزالات يمكن ان تنافس الفسفور على مواقع الامتزاز وتقلل من امتزازه.
2) الاحماض العضوية تذيب المترسب من الفسفور.
3) الاحماض العضوية تخفض الـ pH وتزيد الجاهزية.
4) تغليف اكاسيد الحديد واسطح الامتزاز المختلفة وتقلل من الامتزاز.
5) الفسفور العضوي يكون مصدراً للفسفور بعد تمعدنه كما اشير الى ذلك آنفاً.
6) غاز ثنائي اوكسيد الكاربون الناتج من تحلل المواد العضوية يمكن ان يخفض الـ pH ومن ثم زيادة جاهزية الفسفور.

- **درجة تفاعل التربة pH :**

افضل ذوبانية وجاهزية للفسفور تكون عند المدى 6.8-6.0 وهنا يكون الفسفور بصيغة الاورثوفوسفات وهذا تم اثباته من خلال مخططات الذوبانية للفسفور. كما ان للـ pH تأثير في نسب تواجد صورتي الفسفور المتيسرة للإمتصاص من قبل النبات وهي الاورثوفوسفات $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} والتي تتساوي عند pH 7.22 وعند زيادة الـpH عن 7.22 تزداد نسبة HPO_4^{2-} بالقياس الى $H_2PO_4^-$ والعكس صحيح مع انخفاض الـpH. وبما ان صيغة $H_2PO_4^{-1}$ اكثر تيسراً للإمتصاص من قبل النبات تكون الجاهزية افضل مع الـpH المتعادل المائل الى الحامضية.

- **الغمر:**

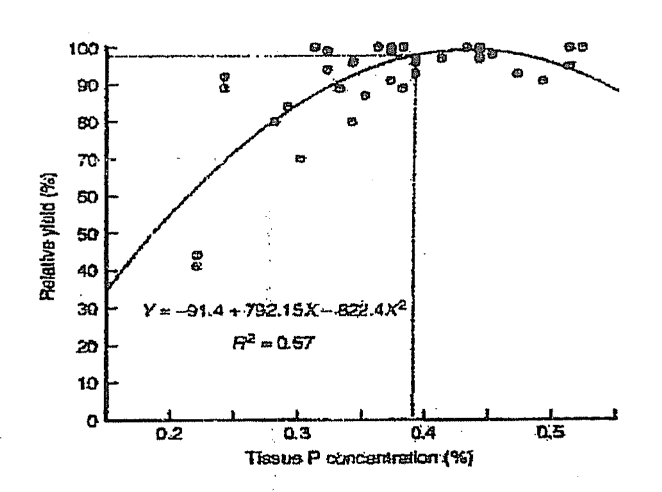
عملية الغمر يمكن ان تؤدي الى زيادة جاهزية الفسفور المرتبط بالحديد بعد ذوبانية الحديد بسبب عمليات الاختزال او ان الفسفور المرتبط بالحديد الثلاثي سيتحرر بعد تحول الحديد الى الثنائي بعملية الاختزال).

- نوع الايونات الموجبة السائدة على اسطح التبادل: اذ ان الاسطح الحاوية على ايونات ثلاثية التكافؤ تكون اقوى في امتزازها ومسكها للفسفور من الثنائية وهذه اعلى من الاحادية.
- نوع المحصول: تختلف المحاصيل في قدرتها على امتصاص الفسفور من التربة نفسها ويزداد الامتصاص عموماً مع زيادة المساحة السطحية للجذور ومدى توافر الشعيرات الجذرية وامتدادها. وهناك مراجع تشير الى ان محصول الدخن يمتص الفسفور بكمية اعلى من الشعير والشعير اعلى من الجت للمدة الزمنية نفسها.

التقويم الخصوبي للفسفور:

فحص النسيج للفسفور:

التشخيص الدقيق يتطلب تحليل النسيج الي يتم بأخذ جزء من النبات وحسب نوع النبات وقياس تركيز الفسفور في هذا الجزء مع اخذ مرحلة النمو بنظر الاعتبار. وبالتطبيق فإن مديات الكفاية (جدول 1.3) عادة تقدر من خلال عمل ارتباط بين الانتاج النسبي النهائي مقابل تركيز الفسفور في انسجة النبات وتفسير الدالة شبه خطية curvilinear او العلاقة المنحنية او من الدرجة الثانية عند مستويات معينة من الانتاج الاقصى ولمعظم المحاصيل الحقلية يتم استعمال قيمة 90٪ الى 95٪ من الانتاج الاقصى. بالنسبة لمحاصيل الخضر ذات القيمة التسويقية الاعلى والناتج الاقتصادي القريب الى الانتاج الاقصى القيمة تقترب من 98٪ (شكل 2.3).



شكل (2.3) تركيز الفسفور الحرج المحسوب باستعمال موديل منحني خطي

Sanehez , C.A. and Bnrdine , H.W. (1989). Soil crop Sci. Soc. Fla. Proc. 48:37

جدول 1.4 تراكيز الفسفور بمستوى الكفاية في الانسجة النباتية لنباتات مختلفة:

النبات Plant spp.	مرحلة النمو	جزء النبات Plant part	التركيز في المادة الجافة ملغم كغم-1 مادة جافة Concentration in Dry Matter (mg kg^{-1}) adequate ملائم
الشعير Hordium volgare L	نمو خضري	كل النبات	0.4<
الحمص Cicer arietinum L	45 يوم بعد الزراعة	كل النبات	0.29-0.33
الذرة الصفراء Zea mays L	الحريرة	ورقة العرنوص	0.29<
القطن Gossypium hirsutum L.	بداية التزهير	ورقة كاملة الاتساع	0.31<
الباقلاء Vicia faba L			0.43 -0.32
الرز Oryza sativa L	منتصف التفرعات	النصل	0.27 -0.14
الجت Medicago sativa L.	بداية التزهير	كل النبات	0.5 -0.15
البرسيم Trifolium pretense L	خلال موسم النمو	كل النبات	0.23<
السلق Apium gravealens	وسط فصل النمو	ورقة كاملة الاتساع	0.55<
الخيار Cucumis sativusL	بداية تكوين الثمار	الورقة الخامسة من القمة	1.0 -0.25
الباذنجان Solanum melongena L	الحصاد	النصل	0.4 -0.25
البصل Allium cepa L		الورقة الرابعة	0.31<

النبات Plant spp.	مرحلة النمو	جزء النبات Plant part	التركيز في المادة الجافة ملغم كغم $^{-1}$ مادة جافة Concentration in Dry Matter (mg kg^{-1})
			adequate ملائم
الفلفل Capsicum annum L	وسط فصل النمو	ورقة كاملة الاتساع	0.7 -0.3
البطاطا Solanum tuberasum L	بداية تكوين الدرنات	الاوراق	0.45 -0.31
	نضج الدرنات	الاوراق	0.17 -0.14
Ref. Sanchez C.A. 2007.Phosphorus. in :Barker,A.V. & Pilbeam,D.J.Eds. Handbook Of Plant Nutrition. Taylor & Frances Group.CRS			

- فحص التربة للفسفور:

كما لوحظ في الجزء السابق فإن استجابة المحصول للفسفور يرتبط بشكل ضعيف مع الفسفور الكلي في التربة. لذلك فإن فحص التربة الجيد يتطلب اختيار المستخلص extractant المناسب والربط بين كمية المغذي المستخلص مع الفسفور المتجمع في النبات، وإجراء دراسات معايرة لتحدد العلاقة بين نتائج فحوص التربة وكمية السماد المطلوب لإنتاج مثالي. تم خلال القرن الماضي، افتراض عدداً من طرائق فحص التربة وعدداً كبيراً من المراجع الممتازة حول فحص التربة تم نشرها. عموماً طرائق فحص التربة التي تستخدم الماء او المحاليل الملحية المخففة كمحاليل استخلاص تصف الفسفور في محلول التربة او مايسمى بعامل الشدة intensity factor، بينما الطرائق التي تستخدم الحوامض والمحاليل المعقدة او المحاليل البفرية القاعدية تمحاليل للإستخلاص تصف الفسفور الممتز على اسطح مكونات التربة المختلفة ولاسيما القابل للتغير وهو ما يطلق عليه بعامل الكمية quantity. الفحوص المعتمدة على الاستخلاص بالماء ترتبط بشكل جيد مع الفسفور المتجمع في محاصيل الخضر ذات الجذور الضحلة وسريعة النمو. المستخلصات التي تصف بشكل افضل الجزء القابل للتغير للفسفور

Labile-fraction وعامل السعة غالباً مايعطي وينتج عن نتائج اكثر منطقية للمحاصيل الحقلية والبساتين. استعمال بيكاربونات الصوديوم $NaHCO_3$ لفحص التربة Sodium bicarbonate soil test عموماً يرتبط جيداً مع استجابة المحاصيل في الترب الكلسية وهو المستخلص الاكثر انتشاراً في الترب الكلسية. مستخلص اخر هو $NaHCO_3$-DTPA استعمل للتقدير المتزامن للفسفور والبوتاسيوم والزنك والحديد والنحاس والمنغنيز وسلك بطريقة مشابهة للبيكاربونات بالنسبة للفسفور.

استعملت النظائر المشعة ومنحنيات الامتزاز ليس لوصف اجزاء الفسفور القابلة للتغير (الفسفور القابل للتجهيز) فقط، ولكن ايضاً لحساب السعة التنظيمية للفسفور في الترب. ومع هذا فإن هذه الفحوصات تحتاج جهد كبير ومكلفة ولذا محدودة الاستعمال في القياسات الروتينية.

بالنهاية فحوص التربة يجب ان تحول الى توصية سمادية للمحاصيل ونقطة البداية المفيدة هي تحديد المستوى الحرج التي فوقه تكون الاستجابة للتسميد الفوسفاتي غير اكيدة. ومع هذا ولصعوبة التعميم لترب مختلفة فان معظم المختبرات تعطي التوصية على اساس ان الاستجابة واطئة أومتوسطة أو محتملة أو عالية. وبشكل عام فإن ترب المناطق الجافة وشبه الجافة تتطلب مستوى فسفور بالتربة بحدود 15 – 30 ملغم كغم$^{-1}$ تربة (طريقة اولسن) للترب الناعمة والخشنة على التوالي (بشور 2007)(ملحق 3). ان هذه القيم تختلف عن القيمة التي ذكرها حسن واخرون 1990 للترب العراقية والتي اشارت الى ان الحد الحرج للفسفور في التربة هو 7 ملغم كغم$^{-1}$ تربة بسبب التطور التي انتج اصناف محاصيل عالية الانتاج وتبني الزراعة الكثيفة والمغطاة. والجدول 2.4 يبين علاقة التوصية السمادية بتحليل التربة والمحصول لبعض الترب التي اشير اليها في المصدر ويمكن ان لاتنطبق على الترب كافة.

وبشكل عام يتراوح محتوى الترب العراقية من الفسفور الجاهز بين 3 الى 14 ملغم فسفور كغم$^{-1}$ تربة (جزء بالمليون) ومحتوى الترب الديمية اعلى من الترب المروية ويمكن الحصول على ارقام اعلى في ترب البيوت الحمية التي تسمد باستمرار وفي دراسة اجريت عام 1996 والتي تضمنت التقويم الخصوبي للفسفور الجاهز في بعض الاراضي الزراعية في محافظة نينوى والتي غطت مساحة 1.5 مليون هكتار، تبين ان 78.5 ٪ من المساحة المزروعة اتصفت بمحتوى فسفور واطئ جداً (من كمية قليلة الى 12 ملغم فسفور كغم$^{-1}$ تربة) وإن 13.5٪ من هذه الترب ذات مستوى متوسط (12 – 17 ملغم فسفور كغم$^{-1}$ تربة) وفقط 8٪ منها ذات مستوى عالي من الفسفور (اعلى من 17 ملغم فسفور كغم$^{-1}$ تربة)(تقرير 1996).

جدول 2.4: دليل عام لتفسير فحص الفسفور المستخلص:

بطريقة اولسن(بيكاربونات الصوديوم) (ملغمP كغم$^{-1}$ تربة) لتسميد بعض محاصيل الخضر:

المحصول	الاستجابة		الملاحظات
	محتملة	غير محتملة	
الخس	20 >	40<	
البصل	8 >	12<	
البطاطا	12>	25<	
الطماطة	6>	12<	
Ref. Sanchez C.A. 2007. Phosphorus. in: Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.Eds. Handbook Of Plant Nutrition. Taylor & Frances Group.CRS			

➢ مصادر الأسمدة الفوسفاتية:

تتعدد مصادر الفسفور السمادية فمنها العضوي ومنها المعدني. الاسمدة الفوسفاتية المعدنية شائعة الاستعمال موضحة في (جدول 1.4) والمصدر الرئيس

للتصنيع هي الصخور الفوسفاتية التي لا تعد اسمدة الا بعد معاملتها بالحوامض والحرارة لزيادة تركيز الفسفور الذائب بالماء. ومع هذا يمكن ان تكون الصخور الفوسفاتية مصدراً للفسفور في الترب الحامضية.

جدول (4 – 1) الأسمدة الفوسفاتية المعدنية شائعة الاستعمال:

السماد Fertilizer	الاختصار المستخدم بشكل شائع	التحليل				٪ الفسفور الذائب من الجزء المعلن	الصيغة الكيميائية
		N	P_2O_5*	K_2O	S		
Single super phosphate السوبر فوسفات الأحادي	SSP	–	16-22	–	11-12	97 – 100	$Ca(H_2PO_4)_2$
Phosphoric (green) acid حامض الفسفوريك الاخضر	–	–	48-53	–	–	100	H_3PO_4
Triple super phosphate السوبر فوسفات الثلاثي	TSP or CSP	–	44-53	–	1.0-1.5	97 – 100	$Ca(H_2PO_4)_2$
Mono ammonium phosphate فوسفات احادي الامونيوم	MAP	11-13	48-62	–	0-2	100	$NH_4H_2PO_4$
Di ammonium phosphate فوسفات ثنائي الامونيوم	DAP	18-21	46-53	–	0-2	100	$(NH_4)_2HPO_4$
Ammonium poly phosphate فوسفات الامونيوم المتعددة	APP	10-15	35-62	–	–	100	$(NH_4)_3HP_2O_7.$ $NH_4H_2PO_4$
Urea-Phosphate اليوريا- فوسفات	UP	17.7	45	–	–	100	$CO(NH_2)_2H_3PO_4$
Mono Potassium phosphate فوسفات احادي البوتاسيوم		–	51	35	–	–	KH_2PO_4

• لتحويل P_2O_5 الى P يضرب الرقم بـ0.436.

ويشكل عام تعد معظم الاسمدة الفوسفاتية الصرفة او الاسمدة المركبة الحاوية على الفسفور مصادر جيدة، الا ان هناك اختلافات ذات علاقة بالتحليل (اي المحتوى من العنصر او العناصر) والذوبانية والكلفة كلها امور مهمة تحدد اختيار السماد المعين. وهناك دراسات عدة بينت ان سماد السوبر فوسفات الثلاثي اعطى حاصل جيد بالتسبة لمحصول الجت لاسيما عند خلطه مع اليوريا(علي،1997) وسماد فوسفات اليوريا تميز على سمادي فوسفات ثنائي الامونيوم DAP والسوبر فوسفات في تجربة مع محصول الذرة الصفراء(الموسوي،2004) وتميز سماد الـDAP على الاسمدة الفوسفاتية الاخرى (الحمداني، 2000). وعند الإضافة بالرسمدة مع مياه الري تفضل المصادر الذوابة بالماء مثل فوسفات احادي البوتاسيوم والـDAP وفوسفات اليوريا(علي، 2011).

تداخل النتروجين مع الفسفور:

النتروجين يحفز ويشجع امتصاص الفسفور بوساطة جذور النبات من خلال:-

- زيادة نمو الجزء العلوي والجذور.
- تغير البناء الحيوي للنبات.
- زيادة ذوبانية وجاهزية الفسفور.

وهنا السماد النتروجيني الامونياكي يكون له تأثير اكبر من خلال دوره في خفض الـ pH وتشجيع الامتصاص.

الفسفور المتبقي:

بشكل عام الجاهزية للفسفور المتبقي يمكن ان تبقى لمدة سنين اعتماداً على مستوى السماد المضاف وامتصاص الفسفورمن قبل المحصول وخواص التربة المؤثرة في كيمياء الفسفور. ومع هذا وبشكل عام، الجاهزية تبقى لفترة اطول في الترب الكلسية والضعيفة التجوية مقارنة بالترب الحامضية والمجواة.

المدى الحرج للفسفور وللترب الكلسية بحدود (15-25 جزء بالمليون)(25-15 ملغم.كغم$^{-1}$ تربة)، ومع هذا هناك اختلاف حسب التربة وحسب المحصول. وبينت بعض الدراسات الى ان قيم مستوى الفسفور الجاهز التي تتجاوز 30 ملغم. كغم$^{-1}$ تربة يمكن ان تعد عالية الفسفور في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة والاستجابة للتسميد بالفسفور غير مؤكدة (ملحق 3).

المهم هو أجراء فحص تربة لتقدير محتوى التربة من الفسفور الجاهز وبطريقة جيدة لوصف هذه الكمية الجاهزة قبل اضافة الفسفور. ومع هذا وحتى لو كان مستوى الفسفور جيد فهناك دراسات عدة اثبتت ان اضافة ابتدائية للسماد الفوسفاتي تشجع وتعظم من الانتاج لاسيما وان دراسات حركيات الفسفور اثبتت بطء الامتصاص والحركة في التربة مما يستوجب الاضافة لتلبية الاحتياجات السريعة.

- **الاحياء المذيبة للفوسفات Phosphate- Solubilizing organisms (PSO)**

تحت الظروف الحامضية والكلسية التي تتصف بقابليتيهما العالية على امتزاز وترسيب الفسفور وتجعله بصورة اقل جاهزية واحياناً غير جاهز للإمتصاص من قبل جذور النباتات، تنشط بعض انواع من البكتريا والفطريات التي لها القابلية على اذابة الفسفور غير الجاهز وتجعله اكثر جاهزية للنباتات. والتأثير هنا من خلال انتاج الاحماض العضوية التي تستطيع خفض الـpH وبالتالي زيادة جاهزية الفسفور وهناك مصادر تشير الى ان هذه الاحياء تستطيع توفير بحدود 30 – 50كغم من سماد السوبر فوسفات (Chen,2006).

تستطيع الرايزوبكتريا المشجعة لنمو النبات PGPR اذابة الفوسفات غير الجاهزة وتجعلها اكثر جاهزية للنبات، واهم اجناس البكتريا المذيبة للفسفور Phosphate solubilizing bacteria (PSB) في التربة هي

(Entrobacter،Pseudomonas،Bacillus) ومن اهم انواع جنس Bacillus هي Bacillus polymyxa. ان عملية زيادة الجاهزية تتم من خلال انتاج البكتريا لاحماض عضوية مثل Tartaric acid وOxalic acid وMalic acid. وهذا سيؤدي الى خفض الـ pH في منطقة الرايزوسفير وزيادة جاهزية الفسفور.هذا فضلا عن CO_2 الناتج عن التنفس الحيوي والذي يتحول الى حامض الكاربونيك الذي له دورا في زيادة جاهزية الفسفور. الاحماض العضوية الناتجة لها دور مخلبي في زيادة جاهزية المغذيات الصغرى ايضا في التربة وتقليل احتمالية ترسيبها الى اشكال غير جاهزة. وفي دراسة للخليل وعلي (2009) لوحظ ان استعمال السماد الحيوي –الموفر– بيوسماد تجاري) الحاوي على البكتريا المذيبة للفوسفات ان هناك استجابة كبيرة لمحصول الطماطة المزروع في البيوت البلاستيكية لهذا السماد الحيوي وان هناك تعويض بحدود 50 كغم من الفسفور نتيجةً لإستعمال هذا السماد. واكد الجوذري (2011) النتائج نفسها مع محصول البطاطا.

➢ المايكورايزا – Vesicular Arbuscular Mycorrhiza(VAM):

المايكورايزا عبارة عن علاقات متبادلة تعايشية بين جذور النباتات وانواع معينة من الفطريات ولذا تسمى (فطر – جذر). وهنا هايفات الفطريات تمتد وتزيد من كثافة وطول الجذور بحدود 100 مرة وبالتالي تسطيع ان تتغلغل وتصل الى حجم تربة اكبر وتساعد النبات في امتصاص المغذيات لاسيما الاقل جاهزية وحركة في التربة مثل الفسفور والزنك والمولبدنم والنحاس. قسم من الفطريات تستطيع تغليف الجذور وبالتالي تزيد من مقاومتها للجفاف والحرارة العالية والاصابة بالامراض.

مصادر مهمة:

1) Chen ,Jen-Hshuan 2006 The combined use of chemical andlor biofertilizer for crop growth and soil fertility. Internet.
2) Havlin, J.L.; Beaton, J. D.; Tisdale ,S.L. & Nelson, W.L.(2005)Soil fertility & Fertilizers" An Introduction to Nutrient Management"7th Ed. Prentice Hall. New Jersey.
3) Olson, S.R. and Sommers,L.E.1982. "PHOSPHORUS". In Page A.L. et al (Eds) Methods of soil analysis.ASA. Madison Wisconsin ,NY,USA
4) Sanchez, C.A.2007 Phosphorus. in Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
5) Marcel van der Perk.2006.Soil and water contamination. Taylor &Francis Group.London.389p.
6) بشور، عصام. 2007. دليل استخدام الاسمدة في الشرق الادنى FAO.
7) تقرير مشروع المسح الخصوبي لتقدير الفسفور الجاهز لأراضي محافظة نينوى.1996. الدائرة الزراعية. وزارة العلوم والتكنولوجيا (حالياً).
8) الجوذري ؤ، حياوي ويوة. 2011. تأثير مصادر الاسمدة ومستوياتها وطرائق الري في انتاجية البطاطا (Solanum tuberosum L).اطروحة دكتوراه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
9) الحمداني، فوزي.2000. التداخل بين ملوحة ماء الري والسماد الفوسفاتي وعلاقة ذلك في بعض صفات التربة الكيميائية وحاصل نبات الحنطة. اطروحة دكتوراه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
10) الخليل، شيرين مظفر ونورالدين شوقي علي.2009.تاثير التسميد المتكامل المعدني والعضوي والحيوي في انتاجية الطماطة ومحتواها من النترات.مجلة علوم التربة العراقية. مقبول للنشر في 2011 ومنشور في المجلد 9 (1): 167 – 175 لإسباب فنية.

11) السليفاني، سعيد اسماعيل عبو.1993. دراسة السلوك الفيزيوكيميائي لسمادي الأورثوفوسفات والبايروفوسفات في الترب الرسوبية والبنية. اطروحة دكتوراه– كلية الزراعة– جامعة بغداد.

12) الطوقي، احمد عبدالله. 2000. سلوك الفسفور في بعض الترب اليمنية الكلسية.اطروحة دكتوراه– كلية الزراعة– جامعة بغداد.

13) عبد الرسول، قحطان جمال.1998. اطرائق المختلفة لأستخلاص الفسفور وارتباطها مع نمو النبات. رسالة ماجستير – كلية الزراعة– جامعة بغداد.

14) علي، نورالدين.1997. اللعلاقات المتداخلة بين حركيات الفسفور في التربة والفسفور الممتص من قبل النبات. اطروحة دكتوراه– كلية الزراعة– جامعة بغداد.

15) علي، نورالدين شوقي ونزار نزهت احمد2000 امتزاز وترسيب الفسفور في تربة كلسية من وسط العراق. المجلة العراقية للعلوم الزراعية.31(2)91– 118.

16) علي، نورالدين شوقي واحمد الزبيدي ونزار احمد2000 حركيات امتزاز الفسفور في الترب الكلسية. مجلة العراقية للعلوم الزراعية. 31(1)85– 91.

17) ناصر، كاظم مكي 2010: تاثير اضافة المادة العضوية والتوازن الايوني في حركة الفسفور في التربة. اطروحة دكتوراه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.

18) الموسوي، احمد نجم.2004. تاثير مصدر السماد الفسفاتي وتجزئة اضافته في نمو وحاصل الذرة الصفراء. رسالة ماجستير – كلية الزراعة – جامعة بغداد.

الفصل الخامس

البوتاسيوم

Potassium (K)

- تقدير الأساسية أو الضرورية
- الدور في النباتات
- تشخيص حالة البوتاسيوم في النباتات : علامات النقص والزيادة
- تراكيز البوتاسيوم في النباتات
- تقدير مستوى البوتاسيوم في الترب
- أجزاء البوتاسيوم في الترب
- البوتاسيوم الجاهز للنبات
- فحص التربة وعلاقته بالتسميد البوتاسي
- الأسمدة الحاوية على البوتاسيوم
- المراجع

الفصل الخامس

البوتاسيوم

Potassium (K)

تقدير الأساسية او الضرورية:

أثبتت العديد من الدراسات المنفذه في أوساط المحاليل المغذية وتجارب الأصص مع مواد خالية من البوتاسيوم أن النباتات لا تنمو بدون بوتاسيوم مع ان البوتاسيوم لايتواجد في أي مركب عضوي كعنصر بنائي. إذ ان دور البوتاسيوم هو من خلال تنشيط الانزيمات المختلفة والتي يكون البوتاسيوم المسؤول الاول عن هذا التنشيط. وعلى الرغم من امكانية تنشيط هذه الانزيمات بأيونات موجبة أخرى ذات حجم مشابه وغلاف مائي مثل الأمونيوم NH_4^{1+} والروبديوم Rb^+ والسيزيوم Cs^+، إلا أن دور هذه الايونات محدود جداً تحت الظروف الطبيعية لأن تراكيزها في الأنسجة واطئ ولايصل إلى التركيز المطلوب للتنشيط أو للقيام بالدور التحفيزي.

دور البوتاسيوم في النباتات:

ان دور البوتاسيوم في النباتات لايزال يشوبه نوع من الغموض على الرغم من كل البحوث التي نشرت ولكن المعروف منها ان للبوتاسيوم وظائف عده في الخلايا النباتية يمكن تصنيفها الى وظائف فيزيائية – حيوية مثل التنظيم الازموزي واخرى كيميائية –حيوية مثل تمثيل البروتين والنشاط الانزيمي (2007 Mengle,). ويمكن اجمال اهم ادوار البوتاسيوم بالنقاط الاتية:

- يؤثر بشكل مباشر او غير مباشر في تنشيط اكثر من 80 إنزيماً لاسيما المهمة في استخدام الطاقة وتمثيل النتروجين والتنفس (Havlin وآخرون،2005)، ولذا فدور البوتاسيوم تنظيمي وبشكل عام هناك من يطلق على البوتاسيوم رجل المرور في النبات لأدواره التنظيمية.

- يساعد في تثخن الجدران ومن ثم يزيد من تحمل النباتات للإجهادات البيئية المختلفة الحيوية Biotic stresses كالإصابة بالمسببات المرضية والتعرض للحشرات وغير الحيوية Abiotic stresses مثل الإجهادات البيئية من حرارة وجفاف وملوحة لاسيما في وجود توازن جيد بين البوتاسيوم وبقية العناصر المغذية مثل النتروجين.
- ينظم امتصاص المياه وفتح وغلق الثغور ومن ثم يزيد من كفاءة استعمال المياه "Water Use Efficiency"WUE والتي تمثل غم من الوزن لكل حجم من الماء المستهلك او الإنتاج لكل وحدة ماء مضافة او يطلق عليها انتاجية المياه(Water productivity)، ونتائج بعض الدراسات التي نفذت في العراق تؤكد اهمية التسميد بالبوتاسيوم لدوره في زيادة كفاءة استعمال المياه(علي ومحمد 2003 وعلي 2004 والسعدي2007 وعلي واخرون 2009).
- يقوم بالمساعدة بنقل العناصر المغذية من الجذور الى الأجزاء العليا للنبات او نقلها الى الحبوب او الثمار لاسيما النترات وينقل المواد المصنعة السكريات من الأجزاء العليا الى الجذور ولذا يعمل حزاماً ناقلاً للمواد.
- يحافظ على توازن الشحنات الكهربائية عند مواقع الأي تي بيزATP ويحافظ على توازن الايونات الموجبة والسالبة في العصير الخلوي والفجوي.
- يؤدي دوراً فعالاً في تمثيل ونقل البروتين من خلال دوره في انتاج الاي تي بيز وتأثيره في امتصاص النتروجين وتمثيله ومساعدته في تحويل السكريات الى نشويات وسليلوز ويزيد من محتوى النبات من الدهون.
- للبوتاسيوم دور ازموزي متميز ومع ان هذا الدور ليس محدداً بالبوتاسيوم لأن هناك عدداً كبيراً من المواد العضوية وغير العضوية التي تستطيع القيام بهذا الدور في النباتات ومع امكانية بعض الايونات مثل الصوديوم التعويض عن البوتاسيوم في هذه الخاصية الا ان التعويض جزئي لأن البوتاسيوم هو العنصر الاكثر تواجداً وتوافراً بالتراكيز المطلوبة وبالسرعة المطلوبة للقيام بهذا الدور.

- يشجع على نمو الجذور ويحفز انقسام الخلايا النباتية ويزيد من حجم الثمار والحبوب ويحسن من نوعيتها . اذ ان البوتاسيوم وعلى الرغم من كونه مطلوباً في كافة مراحل نمو النبات الا ان الكمية المطلوبة تختلف حسب النوع النباتي والصنف ومرحلة النمو ونوعية الثمار او الحبوب المنتجة. فالثمار الغنية بالماء مثل محاصيل الخضر والتفاحيات والاعناب تحتاج البوتاسيوم حتى في المراحل المتأخرة كي تكون الثمار ذات نوعية جيدة اما المحاصيل والاشجار ذات الثمار الصلبة فإن احتياجاتها من البوتاسيوم تكون اقل في مراحل النمو المتأخرة بشرط ان النبات اخذ كفايته من البوتاسيوم في مراحل النمو الاخرى السابقة. ومع هذا وللمئ حبوب جيد ولتصنيع البروتين فإن محاصيل الحبوب تحتاج الى البوتاسيوم ختى في المراحل المتقدمة من النمو.

❖ تشخيص حالة البوتاسيوم في النباتات:

علامات نقص البوتاسيوم:

لكون البوتاسيوم من العناصر المتحركة بشكل جيد داخل النبات فإن اعراض نقصه تظهر على الأوراق القديمة اولاً بسبب انتقال للبوتاسيوم K^+ من الأوراق القديمة إلى الأوراق الأحدث والى القمم النامية عبر اللحاء. في معظم الأنواع النباتية، الأوراق القديمة تظهر فقدان للون الأخضر وتحرقات بشكل أشرطة صغيرة على طول حواف الورقة مبتدئة في القمم وتكبر على طول الحافات باتجاه القاعدة وحواف الورقة تكون بشكل خاص تعاني من نقص K ولهذا السبب تفقد الانتفاخ والأوراق تبدو منكمشة وهذه العلامات تكون اكثر وضوحاً تحت عجز المياه او النقص في تجهيز المياه (الصورة ادناه):



في بعض النباتات مثل البرسيم الأبيض (Trifolium repens) تظهر بقع بيضاء ومحرقة في أواسط مساحات الأوراق الناضجة، وغالباً هذه المساحات تنحني بالاتجاه نحو الأعلى اما في الطماطة (Lycopersiconesculentum) فإن الثمار المجهزة بشكل غير كافٍ بالبوتاسيوم، يتأخر النضج فيها بشكل كبير والثمرة تبقى قوية وخضراء والنقص يطلق عليه greenback وله تأثير كبير في نوعية وسعر الطماطة، كما تظهر خطوط بيضاء داخل ثمار الطماطة وعدم تلون الطماطة بشكل جيد وتصبح غير صالحة لصناعة المعجون.

وعند مرحلة متقدمة من نقص K، تتأثر النباتات بشكل كبير وتكون اقل تحملاً للإجهادات البيئية والحيوية المختلفة التي اشير اليها آنفاً.

علامات الزيادة:

نتيجةً للتنظيم العالي للبوتاسيوم في معظم النباتات فإن حدوث زيادة ذات تأثير سمي على النباتات نادر. وحتى تحت الظروف المعينة التي تمتص فيها النباتات للبوتاسيوم بكميات اعلى من احتياجها لايحدث تأثير سلبي مباشر وتدعى هذه الحالة بالاستهلاك الترف Luxury consumption ومع هذا فإن الإضافة العالية أو التجهيز الإضافي للبوتاسيوم يمكن ان يؤثر سلباً في امتصاص أيونات موجبة أخرى ومن ثم يكون هناك تأثيراً في إنتاج المحصول ونوعيته. اذ لوحظ انه مع زيادة جاهزية K في التربة، انخفض امتصاص Mg^{2+}، Ca^{2+} من قبل الشوفان

(Avenasativa L) وهذا يمكن أن يكون له دوراً سلبياً في نوعية العلف (محاصيل العلف) الذي من المهم ان تحتوي على تراكيز نموذجية من Mg^{2+} كي لاتتعرض الحيوانات الى مايسمى بكزاز الحشائش(grass tetany) التي يرتبط بنقص المغنيسيوم. المحتوى العالي من K^+ يمكن ان يؤثر ويشوش في امتصاص Ca^{2+} ويساهم في ظهور النقرة أو اللب المر bitterpit في ثمار التفاح وتعفن الطرف الزهري (BER) في ثمار الطماطة والنقره الفارغة في جذور الجزر مع تأثير سلبي قوي في نوعية الثمار من خلال مايسمى بالتضاد الايوني Ion antagonism أو التنافس الايوني للايونات الموجبة Cation Competition، لاسيما وان البوتاسيوم يعد من الأيونات الموجبة ذات القابلية العالية على التنافس بسبب خواص البوتاسيوم الكيميائية (عمارة،2005).

تراكيز البوتاسيوم في النباتات:

البوتاسيوم في أنسجة النبات يتواجد بشكل أيوني ويتم التعبير عن محتواه على اساس التركيز نسبةً الى الوزن الجاف او الكتلة الجافة للجزء النباتي لأن التعبير على اساس الوزن الرطب يتأثر بالمحتوى الرطوبي للجزء المقاس. وبسبب اختلاف التركيز مع مرحلة النمو والجزء المقاس فمن المفضل التعبير عن التراكيز باستعمال مفهوم المدى وليس الاعتماد على رقم محدد. ومع هذا هناك ضرورة لذكر الجزء النباتي المقاس ومرحلة النمو وطريقة التقدير. ويعبر عن التركيز بنسبة مئوية على اساس الوزن الجاف او ملغم لكل غم مادة جافة من النبات.

ومن الامثلة على ذلك فإن مدى تركيز البوتاسيوم في الاوراق الكاملة الاتساع حديثة التكوين بحدود 25 – 35 ملغم K. غم$^{-1}$ مادة جافة (2.5– 3.5 ٪) لمحصول الطماطة و35– 45 ملغم K. غم$^{-1}$ مادة جافة لمحاصيل الحبوب عند مرحلة التفرعات. وبحدود 22 و20 و16 ملغم K.غم$^{-1}$ مادة جافة لنباتات الذرة الصفراء في مراحل النمو الخضري والتزهير والحصاد(السماك،2009). تراكيز

البوتاسيوم في الاجزاء فوق سطح التربة للبطاطا كانت57و37 و34 ملغم K.غم$^{-1}$ مادة جافة لفترات نمو مختلفة ولدرنات البطاطا بحدود 26 ملغم K.غم$^{-1}$ مادة جافة (بهية،2001).

تقييم وتقدير حالة البوتاسيوم في الترب:

البوتاسيوم في التربة:

يعد البوتاسيوم أكثر الايونات الغذائية الكبرى توفراً في التربة.إذ تتراوح كمية تواجده في التربة بين 3000–100000 كغم هكتار$^{-1}$ في العمق 20 سم من الطبقة السطحية للتربة. من هذه الكمية 98 ٪ مرتبط بالمعادن و2 ٪ فقط في الجزء الذائب (في محلول التربة) والمتبادل على الاسطح.. الذائب في محلول التربة يكون سريع الجاهزية يليه المتبادل على الاسطح والذي يكون قابل للتجهيز بشكل جيد ثم البوتاسيوم المثبت داخل صفائح معادن الطين وهو بطئ الجاهزية وأخيرا البوتاسيوم التركيبي او المعدني الموجود في المعادن الأولية.

المعادن الأكثر أهمية الحاوية للبوتاسيوم هي الفيلدسبارات القاعدية $KAlSi_3O_8$ (20 – 30 غم K. كغم$^{-1}$) المسكوفايت $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ (بوتاسيوم المايكا 60 – 90 غم K. كغم$^{-1}$) البايوتايت $KAl(M_1Fe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$ (مغنيسيوم المايكا 36 – 80 غم K. كغم$^{-1}$) والإلايت (32 – 56 غم K. كغم$^{-1}$). هذه المصادر الطبيعية الرئيسة التي يتحرر منها البوتاسيوم بالتجوية والتي تغذي النباتات. تجوية المعدن تبدأ عند السطح ويرتبط ذلك مع تحرر K. هذه العملية تشجع بالتراكيز الواطئة جداً للبوتاسيوم في محلول التربة التي في تماس مع سطح المعدن، وهذه التراكيز الواطئة نتجت بسبب امتصاص K بوساطة جذور النباتات والأحياء المجهرية وغسل البوتاسيوم.

وحدة الطبقات للمايكا والالايت ترتبط سوية بالبوتاسيوم ويقع البوتاسيوم في المسافات أو الفراغات السداسية(الشبيه بالسداسية) المتكونة بذرات الأوكسجين

والتي يتكون فيها الغلاف الخارجي الالكتروني بجذب الشحنات الموجبة K^+. خلال عملية الجذب هذه فإن البوتاسيوم ينزع منه ماء التأدرث. إزالة الماء هذه عملية اختيارية نتيجة لانخفاض أو لكون طاقة التميؤ (طاقة ارتباط الماء بالبوتاسيوم) واطئة. هذه الرابطة الاختيارية للبوتاسيوم هي السبب الرئيس الذي يؤدي إلى عدم غسل البوتاسيوم في معظم الترب بسهولة، مقارنةً بالصوديوم. أيون الامونيوم يمتلك طاقة ربط مع الغلاف المائي واطئ أيضاً مشابه للبوتاسيوم ولذا يستطيع ولهذا السبب المنافسة مع البوتاسيوم في المواقع الداخلية بين الطبقات البنائية. بوتاسيوم مابين الطبقات ذو أهمية معينة وكبيرة بالنسبة لتحرر وخزن البوتاسيوم. ظروف الاتزان تتواجد بين تراكيز K في محلول التربة والمتبادل وبوتاسيوم مابين الطبقات.

تحرر K يبدأ في مواقع الحواف (بوتاسيوم الحواف) ويتقدم ويستمر إلى الأجزاء الداخلية لما بين الطبقات. هذا التحرر يرتبط أو يتأسس مع فتح الطبقات (مابين الطبقات) لضعف الربط بالبوتاسيوم. الشحنات السالبة الحرة لما بين الطبقات تشغل بعد ذلك بالأيونات الموجبة المتميئة (Al^{3+}, Na^+ و Mg^{2+}, Ca^{2+}). عموماً هناك اعتقاد ان H^+ المتحرر من جذور النباتات يساهم كثيراً في تحرر البوتاسيوم من المعادن الحاوية عليه. ولذا هناك محاولات لاستعمال الراتنجات المشبعة بالهيدروجين او الكالسيوم لدراسة تحرر البوتاسيوم (علي واخرون 2010). ان تفضيل معادن الطين للبوتاسيوم يعتمد على موقع امتزاز البوتاسيوم اذ ان طبيعة ارتباط البوتاسيوم في هذه المواقع يعتمد على نوع التربة وكمية المعادن ونوعها والمواقع التي يرتبط فيها البوتاسيوم في جزء التربة الصلب هي:-

Planer (P-Position): مواقع لا يوجد فيها مواقع محددة لربط البوتاسيوم.

Edge (E-Position): مواقع يكون فيها تفضيل كبير للبوتاسيوم.

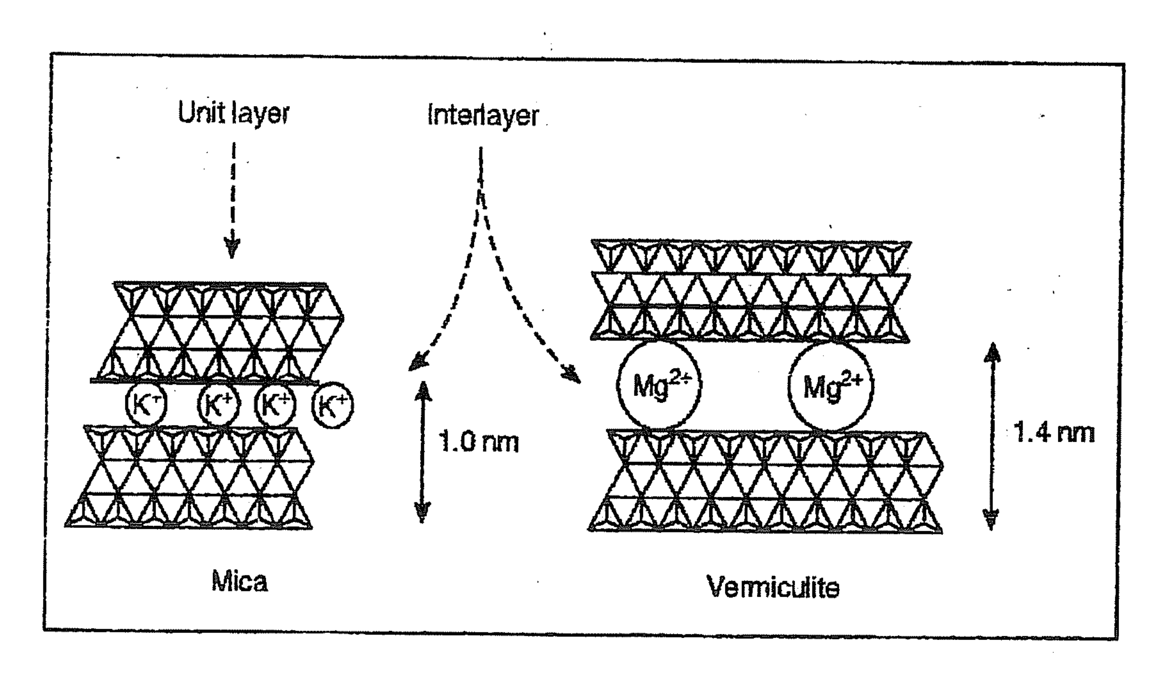
Inter lattice (I-Position)؛ مواقـع لهـا اعلـى تفضـيل للبوتاسـيوم، والبوتاسيوم يمسك على مواقع بين الطبقات الداخلية وعموماً (غير متبادل).

ان معـدن طـين الكاؤولينايت لـيس لـه مواقـع ربـط للبوتاسـيوم في الشبكات الداخليـة، فسـلوكه مماثـل للرمـل والمـادة العضـوية في مـا يتعلـق بديناميكيـة البوتاسيـوم، أمـا معـادن طـين الفيرمكيولايـت والألايـت فأنهـا تمتـز البوتاسـيوم باختيارية، في حين ان اختيارية معـادن طـين المونتموريلونايت (السمكتايت) اقل مما هي عليه في معدن الألايت، إلا أنها أكبر مما في معدن الكاؤولينايت.

ان اختيارية معادن الطين للبوتاسيوم هنا تاخذ الترتيب الاتي:-

Illite > Vermculite > Smectite

مـادة التربـة العضـوية لاتمتلـك مواقـع ربـط نوعيـة للبوتاسـيوم، ولـذلك ماتحويـه مـن K^+ معـرض للغسـل، وعمومـاً الـترب ذات المحتـوى العـالي مـن K^+ هـي الـترب الفتيـة، مثـل الـترب الفولكانيـة ولكـن أيضـاً تشـمل الـترب المشـتقة مـن اللـس (loess) في الظروف شبه الجافة.



مخطط للطبقة الداخلية (مابين الطبقات) المنكمشة للمايكا أو الالايت والفيروميكيولايت المتمددة بالمغنيسيوم:

Mengel & Kirkby, Principles of Plant Nutrition, 2001.

صور البوتاسيوم في الترب:

يتواجد البوتاسيوم في الترب على الصور الاتية :

اتفق العديد من الباحثين على تقسيم بوتاسيوم التربة الى اربعة صيغ مختلفة مرتبة على وفق تيسرها وجاهزيتها للنبات الى:

بوتاسيوم محلول التربة >	البوتاسيوم المتبادل >	البوتاسيوم المثبت >	البوتاسيوم التركيبي
(Solution K) >	(Exchangeable K) >	(Fixed K) >	(Structure K)
الاكثر تيسراً	متيسر وجاهز	بطئ الجاهزية	صعب الجاهزية

ويمكن التعرف على تلك الصيغ الاربع من خلال استعمال تحاليل التربة المناسبة.

❖ **البوتاسيوم الذائب بالماء Soluble K او بوتاسيوم محلول التربة Soil solution K :**

ويعد الجزء الاكثر تيسراً والتي تعتمد كميته على السعة التنظيمية لمعادن الطين او القابلية على تعويض البوتاسيوم من الاجزاء الاخرى. تتراوح قيم البوتاسيوم الذائب في الترب العراقية بين 0.001 – 0.22 سنتي مول + كغم$^{-1}$ تربة (0.39 – 89.0 ملغم كغم$^{-1}$ تربة)(السماك واخرون، 2009). ان معظم ما يمتصه النبات من البوتاسيوم يكون مصدره من محلول التربة وان محتوى البوتاسيوم في محلول التربة في أي وقت يعتمد على الأستنزاف اضافةً الى التعويض الحاصل من صيغتي البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل، وان العمليات الجارية في التربة التي من شأنها ان تخفض تركيز بوتاسيوم محلول التربة تشجع في الوقت ذاته على تحرره

من صيغته غير المتبادلة، ويمكن ان يتحرر البوتاسيوم في آن واحد من البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل الى محلول التربة أو بعمليات التبادل الخطية من البوتاسيوم غير المتبادل الى متبادل ومنه الى محلول التربة. ان تركيز البوتاسيوم في محلول التربة عند السعة الحقلية يعتمد على نسبة التشبع بالبوتاسيوم للتربة، أمّا عند محتوى معين من البوتاسيوم المتبادل فان التربة الطينية عادة ما يكون تركيز البوتاسيوم في محلولها أوطأ من تركيزه في التربة الرملية ذات المحتوى القليل من الطين. وعند تساوي محتوى الترب من الطين فأن تركيز البوتاسيوم في محلول التربة يعتمد على طبيعة معادن الطين. وتعتمد كمية بوتاسيوم محلول التربة على السعة التنظيمية لمعادن الطين، اذ ان معادن الطين الألوفاتية ذات السعة المحدودة لا تعوض بسهولة بوتاسيوم المحلول بينما تحافظ المعادن ذات السعة التنظيمية الجيدة مثل المايكا والفيرميكيولايت على مستوى بوتاسيوم محلول التربة غير متغير وان كمية بوتاسيوم محلول التربة يتأثر كثيرا بكمية البوتاسيوم المتبادل والمحتوى الرطوبي ودرجة تفاعل التربة ومعادن الكاربونات التي تحويها التربة ونوع وتركيز الأيونات في محلول التربة.

❖ البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K :

وهو جزء البوتاسيوم الممسوك او المتبادل على اسطح الغرويات السالبة الشحنة ويربط على مواقع الامتزاز غير المتخصصة والتي تمثل مواقع السطوح الخارجية وحواف المعادن الطينية وعلى الشحنات السالبة الناتجة من مجاميع الفينول والكاربوكسيل في الغرويات العضوية.

يشكل البوتاسيوم المتبادل بالغالب اقل من 2٪ من البوتاسيوم الكلي. كمية البوتاسيوم المتبادل في الترب العراقية في المدى 0.08 – 3.0 سنتي مول . كغم^{1} تربة (31.0 – 1173 ملغم كغم$^{-1}$ تربة)(السماك، واخرون 2009). وان كمية البوتاسيوم الذي يتم تبادله في الترب ذات النسجات الخشنة اسرع مما هو عليه في الترب ذات النسجات الناعمة، الا ان الأخيرة تمتلك طاقة تجهيز عالية للبوتاسيوم.

وان كمية البوتاسيوم المتبادل ترتبط كثيراً مع نوع معدن الطين وصافي شحنته السالبة.

ان جاهزية البوتاسيوم للنبات تتحدد بنسجة التربة ومعادن الطين والمحتوى الرطوبي واضافة الاسمدة والمخلفات العضوية. وتتحدد كمية البوتاسيوم في كل صيغة اعتماداً على عوامل مختلفة منها كمية ونوع معادن الطين في التربة، امتصاص البوتاسيوم بوساطة جذور النباتات (إذ تتباين كمية الممتص منه تبعاً لتباين نوع النبات وصنفه)، ادارة التسميد (كمية السماد، مصدره وطريقة اضافته)، الفقد عن طريق الغسل والتحولات للبوتاسيوم بين الأشكال المختلفة في التربة نتيجة لعمليات الأمتزاز – عكس الأمتزاز، التثبيت – التحرر فضلاً عن الاستغلال الزراعي السابق للأرض ودرجة تفاعل التربة (pH) وادارتها من حيث المياه المضافة والتقانات المستعملة وادارة المغذيات. وفي السنين الماضية افترض أن (نسبة الفعالية "Activity Ratio "AR) بين نشاط أو فعالية K^+ ونشاط Mg^{2+} $+Ca^{2+}$ في محلول التربة يصف جاهزية البوتاسيوم في الترب طبقاً للمعادلة الآتية:

$$AR = K^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$$

في المحاليل المخففة كما في محلول التربة، نشاط وفعالية K تقريباً هو تركيز K^+ والأكثر أهمية لجاهزية K^+ هو تركيز K^+ في محلول التربة. الجذور النامية تمثل مصب قوي للبوتاسيوم بسبب امتصاص K^+. عموماً معدل امتصاص K^+ أعلى من انتشار K، ولذلك ينشأ استنزاف ينتج عنه تركيز واطئ للبوتاسيوم عند سطح الجذر وهذا التركيز للبوتاسيوم يصل إلى 0.01 مايكرومول، بينما عند محلول التربة المتوازن، تراكيز بحدود 500 مايكرومول تكون سائدة.

تركيز K عند سطح الجذر أيضاً يعتمد على القوة التنظيمية أو البفرية للتربة للبوتاسيوم، والتي أساساً تعني كمية K المتبادل الذي يكون في حالة توازن مع K المحلول. القوة البفرية للبوتاسيوم KBC يمكن أن تعكس من خلال رسم العلاقة بين البوتاسيوم الممتز وتركيز K لمحلول التربة المتوازن وهذه العلاقة تعرف

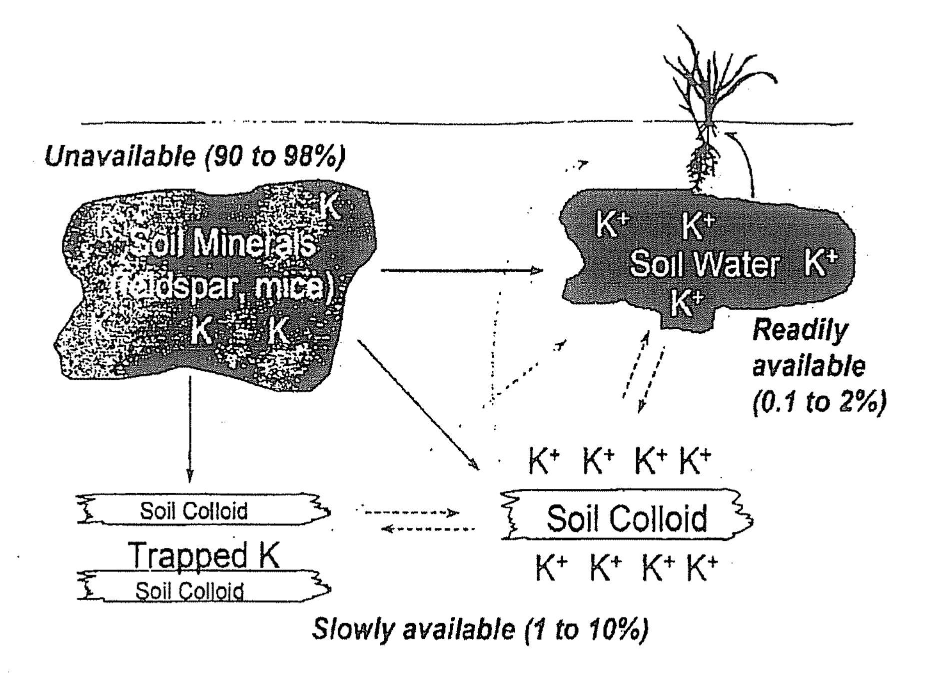
بعلاقة الكمية/الشدة (Q/I)، والتي فيها Q تمثل البوتاسيوم الممتز والشدة I والتي تمثل تركيز K في محلول التربة المتوازن (السماك واخرون 2009 وعلي واخرون 2010).

❖ البوتاسيوم غير المتبادل Non Exchangeable K :

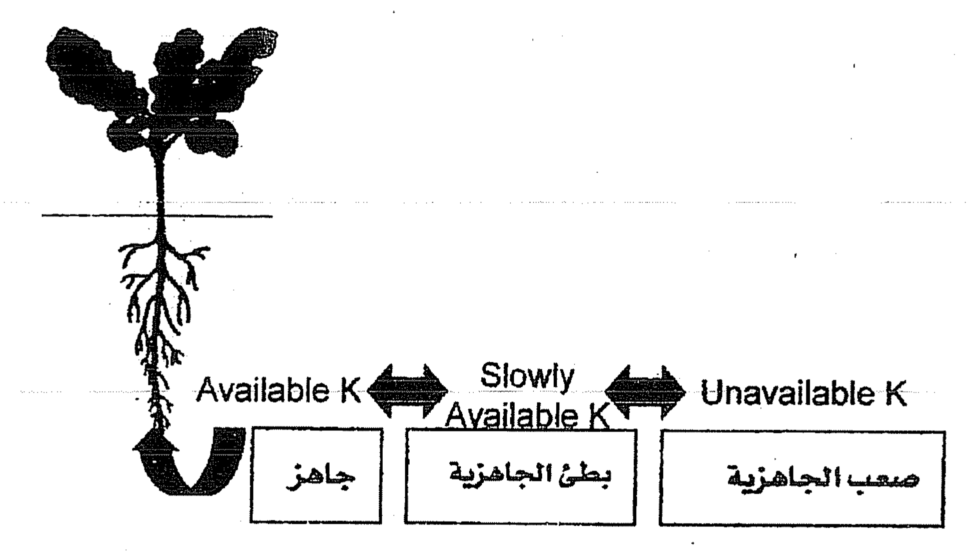
ويشمل صور البوتاسيوم الاخرى غير الجاهزة بشكل مباشر للنبات او صعبة الجاهزية ومنها البوتاسيوم المثبت بين طبقات المعادن الطينية Interlayer K والبوتاسيوم المعدني في المعادن الثانوية او البوتاسيوم التركيبي.

البوتاسيوم المثبت يمسك بين طبقات معادن المايكا في مواقع غير قابلة للتبادل بسهولة مع الايونات الموجبة في محلول التربة. وتكون جاهزيته بطيئة ويمكن ان لايكون جاهزاً خلال موسم زراعي معين الا انه يمكن ان يصبح جاهزاً حسب التوازن الموجود بين صور البوتاسيوم المختلفة وطبيعة الظروف البيئية المحيطة ونوع النبات.

اما البوتاسيوم التركيبي فانه يشكل النسبة العظمى من البوتاسيوم الكلي في معظم الترب وان كميته تعتمد على مكونات الصخور الام وعلى مرحلة تطور الترب. ويعرف هذا الشكل من أشكال البوتاسيوم بأسماء عدة منها البوتاسيوم المعدني (Mineral K)، البوتايوم غير المجوى(Un weatherd K)، بوتاسوم الطبيعة (Nature K)، بوتاسيوم النسيج (Mattrix K) والبوتاسيوم الخامل (Inert K). ويعد البوتاسيوم المثبت والبنائي الاحتياطي الرئيس للبوتاسيوم في محيط التربة ويعبر عنهما بالبوتاسيوم غير المتبادل الا ان الفارق بين المثبت والبنائي هو ان تحرر الاول عكسي بينما يكون تحرر الثاني غير عكسي.



يحصل تحرر البوتاسيوم غير المتبادل عندما ينخفض مستوى البوتاسيوم المتبادل والذائب في محلول التربة او يستنزف من قبل النبات و/ أو الغسل. ان النباتات تاخذ البوتاسيوم من جزأيه الذائب والمتبادل (البوتاسيوم الجاهز للنبات) الان كمية البوتاسيوم في تلك الاجزاء غير كافية بشكل كامل لتلبية حاجة المحصول، لذلك فان البوتاسيوم يتحرر من الاجزاء غير المتبادلة والمعدنية للحفاظ على حالة الاتزان بين مختلف اشكال البوتاسيوم في التربة. وان تحرره يعتمد على عوامل عدة الا ان أكثرها أهمية هو كمية معادن الطين ونوعها. ان تحرر البوتاسيوم من المعادن الى صيغة الذائب والمتبادل وتثبيته من محلول التربة على مواقع التبادل تكون تفاعلات متوازنة في كلا الاتجاهين وان هذه التفاعلات تنظم بميكانيكيات تعتمد على القوى النسبية لربط البوتاسيوم. والمخطط الاتي(شكل 1.5) يبين صور البوتاسيوم المختلفة في الترب والجدول 1.5 يبين العلاقة بين معادن الطين وكمية البوتاسيوم بصوره المختلفة في الترب:



شكل (1.5) صور البوتاسيوم المختلفة

الجدول (1.5): تراكيز K ممثلة في اجزاء تربة مختلفة والعلاقة مع معادن الطين

جزء K	تركيز K في أنواع الطين (ملغم K كغم⁻¹ تربة)		
	الكاؤولنايت	مزيج	1:2 معادن طين
الكلي	3340	8920	15.780
المتبادل	45	224	183
الذائب	2	5	4

Brady, N.C. and Weil, R.R., The Nature and Properties of Soils, 12th ed., NJ Prentice-Hall, 1999.

تقدير البوتاسيوم:

تقدير البوتاسيوم الكلي يتطلب إذابة او تحلل معادن الطين الحاوية للبوتاسيوم ويتم الهضم بجفن بلاتينية (Platinum crucibles) مع مزيج من حامض الهايدروفلوريك والكبريتيك والبيروكلوريك والهايدروكلوريك والنايتريك. البوتاسيوم المتبادل هو الجزء المهم في البوتاسيوم الجاهز والذي يتم الحصول عليه باستخلاص عينة التربة بـ 1 مولاري من كلوريد الامونيوم أو 1 مولاري من خلات الأمونيوم. بهذه الطريقة يستخلص البوتاسيوم المتميئ المتبادل

وجزء من البوتاسيوم غير المتميئ (البوتاسيوم في مواقع الحواف edge). في الترب المزروعة وبشكل عام فان البوتاسيوم المتبادل في المدى 40 – 400 ملغم K. كغم$^{-1}$. البوتاسيوم المتبادل يمكن الحصول عليه باستخلاص التربة بكلوريد الكالسيوم* (125 ملي مولار) الا أن كميات البوتاسيوم التي يتم الحصول عليها تكون اقل لأن Ca^{2+} لايستطيع التبادل مع البوتاسيوم غير المتميئ في حواف مابين الطبقات مقارنةً بالأمونيوم أو المحاليل الحاوية على الأمونيوم. نتائج مماثلة تم الحصول عليها باستعمال الترشيح الكهربائي الفائق EUF (Electro-Ultra-Filtration) التي يتم فيها استخلاص البوتاسيوم من معلق التربة في حقل كهربائي وهناك استخلاصين متعاقبين: الأول مع 200 فولت وعند 20° م (الجزء الأول) والاستخلاص الثاني (الجزء الثاني) مع 400 فولت وعند 80°م. الجزء الأول يشمل البوتاسيوم الممتز غير المتميئ + البوتاسيوم في محلول التربة، بينما الجزء الثاني يشمل لبوتاسيوم مابين الطبقات.

فحص التربة لتوصيات السماد البوتاسي:

الفحص الأكثر شيوعاً للبوتاسيوم الجاهز هو البوتاسيوم المتبادل الذي يتم الحصول عليه بالاستخلاص مع 1 مولاري كلوريد الامونيوم أو خلات الأمونيوم. تراكيز اقل من 170 ملغم K كغم$^{-1}$ تربة يعد مدى منخفض وتركيز بين 170 – 300 ملغم K كغم$^{-1}$ في المدى التوسط الى الكفاية (بشور واخرون، 2007).

(*) هناك مراجع تشير إلى أهمية استعمال كلوريد الكالسيوم CaCl2 كمحلول لاستخلاص للبوتاسيوم المتبادل لأن الأمونيوم يمكن أن يحصل على جزء من غير المتبادل ولكن يبقى الأمونيوم أفضل في تقدير الجاهز.

العوامل المؤثرة في جاهزية البوتاسيوم:

- نوع المعدن الطيني: المعادن من نوع 1:2 اكثر تخصصاً في تثبيت البوتاسيوم وتحوي على اسطح للتبادل (CEC) أعلى ومن ثم اعلى بوتاسيوم متبادل بالقياس الى معادن 1:1.
- السعة التبادلية للايونات الموجبة(CEC): الترب ناعمة النسجة ذات قابلية اكبر على مسك البوتاسيوم من الترب الخشنة النسجة، بتعبير اخر كلما زادت السعة التبادلية للايونات الموجبة كلما زاد خزين التربة من البوتاسيوم. وتؤثر قيمة السعة التبادلية للأيونات الموجبة على كمية السماد البوتاسي المطلوب اضافته وهنا يجب زيادة كمية المضاف مع زيادة هذه السعة لقابليتها العالية على خزن البوتاسيوم.
- رطوبة التربة: مهمة في نمو الجذور والنبات بشكل عام ومن ثم تؤثر في امتصاص البوتاسيوم وكذلك مهمة في حركة البوتاسيوم من التربة الى الجذور وفي امتصاصه. تدفق K^+ في الترب يعتمد على الانتشارية في الوسط، والذي يعني أنه يعتمد بشكل قوي على رطوبة التربة وعلى تركيز K في محلول التربة.
- حرارة التربة: يتأتى تأثير الحرارة في جاهزية البوتاسيوم من تأثيرها في جاهزية البوتاسيوم وتحولاته في التربة ونشاط الاحياء المجهرية ونشاط فعاليات الجذور وبالتالي التأثير في عملية امتصاص البوتاسيوم.
- تهوية التربة: نمو الجذور بشكل طبيعي وحركة البوتاسيوم في التربة والامتصاص من قبل جذور النباتات تتأثر بتهوية التربة ومدى توازنها مع رطوبة التربة.
- pH محلول التربة: يؤثر pH محلول التربة في جاهزية البوتاسيوم من خلال توفر الايونات الموجبة الاخرى ومدى منافستها على مواقع التبادل والامتصاص ولاسيما توفر ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم التي تتوافر بالترب المائلة الى القاعدية كترب العراق وبالتالي تؤثر في البوتاسيوم الذائب كما اشير الى ذلك انفاً من خلال التأثير في فعالية البوتاسيوم.

- نوع النبات: الأنواع النباتية تختلف في قابليتها بالاستفادة أو استخلاص لبوتاسيوم التربة. هناك اختلاف كبير بين الأنواع أحادية الفلقة وثنائية الفلقة، والثنائية أقل قابلية وقدرة على سحب بوتاسيوم التربة، لاسيما بوتاسيوم مابين الطبقات، مما هو عليه مع أحادية الفلقة. الاختلافات الكبيرة في شكل الجذور بضمنها الشعيرات الجذرية وطول الجذر والتي كانت أطول للحشائش كانت السبب وراء هذه الاختلافات.هنا، التماس بين الجذور والتربة تكون أعظم للحشائش مقارنةً بالبقول لذلك تستطيع أن تتغذى أو تعتمد على المستوى المنخفض من البوتاسيوم في المحلول المتأتي من بوتاسيوم مابين الطبقات. هذا الاختلاف بين أحادية وثنائية الفلقة وقابليتها على السحب والاستفادة من K التربة تشير إلى أن الحشائش يمكن أن تنمو بشكل مقنع في مستوى أوطأ من البوتاسيوم المتبادل مقارنةً بالثنائية، ويتم الاستفادة من هذه الخاصية في زراعة الخلائط العلفية لإدارة مثالية للتربة.

تأثير اضافة الأسمدة الحاوية على البوتاسيوم في نمو المحاصيل وانتاجيتها:

عندما تكون التربة ذات محتوى واطئ من البوتاسيوم، او غير قادرة على تحرر كميات كافية من البوتاسيوم الى محلول التربة اي ذات سعة تنظيمية واطئة للبوتاسيوم، فأن انتاج المحاصيل ينخفض وتتردى نوعيته، وتكون المحاصيل حساسة بشكل كبير للأجهادات البايولوجية Biotic Stress بغض النظر عن تجهيز المغذيات الاخرى. إضافة إلى ان الاستمرار بأضافة النتروجين والفوسفور معا بدون اضافة البوتاسيوم الى تربة مستغلة زراعياً وبشكل مستمر له تأثيرات عكسية في تجهيز المحاصيل بالبوتاسيوم مع انخفاض في انتاج المحصول، اذ ان الأنتاج العالي والنوعية الجيدة للمحاصيل يتم من خلال التوازن في اضافة العناصر المغذية المختلفة. في المقابل فإن اضافة الاسمدة البوتاسية للحقول التي يكون فيها مستويات البوتاسيوم واطئة الى متوسطة تعد ضرورية لاسيما حينما لاتضاف اسمدة عضوية الى تلك الترب. ان الاضافة الكافية من السماد البوتاسي يمكن ان تمثل مفتاح العملية الأدارية اللازم للوصول الى الأنتاج الأمثل في نظام الزراعة

الكثيفة، والى جانب الزيادة في الانتاج فأن البوتاسيوم يحسن من نوعية الحاصل في جوانب عدة منها التركيب الكيميائي وقابليتها للخزن وصلاحيتها للتسويق لاسيما تحت الظروف القاسية، الامر الذي يعطي اهمية واضحة لتقانات اضافة الأسمدة الحاوية على البوتاسيوم، ليس كمية الاسمدة المضافة فحسب، بل عوامل اخرى من شأنها ان تزيد من كفاءة استعمال هذه الأسمدة مثل طريقة الأضافة ووقت الأضافة والمصدر السمادي التي تعد عوامل اساسية في زيادة الأنتاج كماً ونوعاً.

البوتاسيوم في الترب العراقية:

المعلومات حول هذا العنصر في الترب العراقية كانت الى ثمانينات القرن الماضي وجيزة ومحدودة بسبب الاعتقاد الذي كان سائداً وهو ان الترب العراقية كبقية ترب المناطق الجافة وشبه الجافة غنية بالبوتاسيوم والمحاصيل الزراعية لاتعاني نقصاً منه. الا ان نتائج الابحاث التي جرت في العقود الثلاث الماضية بينت ان هذا الاعتقاد ليس حقيقة مطلقة وان كفاية البوتاسيوم تعتمد على نمط الزراعة وكثافتها. هذا فضلاً عن ان دراسات الحركيات والثرموداينمك اكدت انه حتى في الترب ذات الخزين الجيد من البوتاسيوم هناك حاجة للتسميد بالبوتاسيوم لأن سرعة التحرر تكون واطئة (علي وآخرون 2011).

الأسمدة البوتاسيومية:

مصادر البوتاسيوم السمادية المختلفة ومحتواها من العناصر المغذية مبينة في جدول 2.5.

جدول (2.5): اهم الاسمدة الحاوية على البوتاسيوم

المصدر	التحليل						
	N	P_2O_5	P	K_2O	K	S	Cl
كلوريد البوتاسيوم KCl	-	-	-	60.0	50.0	-	47
كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4	-	-	-	50.0	41.0	17	-
نترات البوتاسيوم KNO_3	13.0	-	-	44.0	36.5	-	-
فوسفات احادي البوتاسيوم KH_2PO_4	-	52.0	22.7	34.0	28.2	-	-

اثبتت العديد من الدراسات المحلية والعالمية ان كافة مصادر الاسمدة الحاوية على البوتاسيوم جيدة. يعد سماد كلوريد البوتاسيوم الارخص ثمناً والاكثر استخداماً في العالم الا ان هناك بعض المحاصيل مثل التبغ الحساسة للكلور ومن ثم يجب ملاحظة ذلك عند التسميد. سماد كبريتات البوتاسيوم مهم وجيد لكافة المحاصيل. سماد نترات البوتاسيوم ممتاز للتغذية الورقية والمزارع المائية. سماد فوسفات احادي البوتاسيوم ممتاز الا انه غالي جداً.

مراجع مهمة:

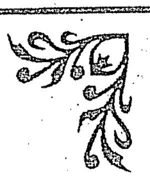
1. Havlin, J.L.; Beaton,J.D.; Tisdale,S.L. & Nelson, W.L. (2005) Soil fertility & Fertilizers"An Introduction to Nutrient Management"7th Ed.Prentice Hall. New Jersey.
2. -Konrad Mengel (2007) Potassium.in Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
3. الكتاب مترجم للعربية من قبل نورالدين شوقي علي 2012
4. السعدي، ايمان صاحب.2007. تقييم سلوك وحالة الاسمدة البوتاسية تحت انظمة ري مختلفة وتأثير ذلك في نمو وانتاج الطماطة والذرة الصفراء. اطروحة دكتوراه – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
5. السماك، قيس حسين ونورالدين شوقي علي واحمد الزبيدي.2009. تاثير بعض اسمدة البوتاسيوم المضافة الى تربة رملية صحراوية تحت نظامي الري بالتنقيط والرش في معلمتي الكمية والشدة وعلاقتها بنمو النبات.مجلة جامعة كربلاء العلمية. عدد خاص.
6. العبيدي، محمد علي جمال. 1996. حركيات البوتاسيوم في بعض الترب العراقية. اطروحة دكتوراه.كلية الزراعة – جامعة بغداد.
7. علي، نور الدين شوقي. 2004. تأثير اضافة البوتاسيوم وطريقتين للري في الانتاجية الكمية والنوعية لمحصول الطماطة (كارملو الامريكي) في الزراعة المحمية.مجلة العلوم الزراعية العراقية. 35(3):23 – 32.
8. علي، نورالدين شوقي وحسين عزيز محمد.2003، تاثير الفسفور والبوتاسيوم في انتاجية الذرة الصفراء وكفاءة استعمال المياه. مجلة العلوم الزراعية العراقية. (34): 35 – 40.
9. علي نورالدين شوقي والسماك،قيس حسين والزبيدي احمد. 2009. تأثير بعض اسمدة البوتاسيوم المضافة الى تربة رملية صحراوية تحت نظامي الري بالتنقيط والرش في كفاءتي استعمال السماد والمياه. مجلة جامعة كربلاء العلمية. عدد خاص.2009.

10. علي نورالدين شوقي والسماك،قيس حسين والزبيدي احمد 2010 استعمال مفهوم الحركيات الكيميائية والراتنجات في وصف تحرر البوتاسيوم من تربة رملية صحراوية. المؤتمر العلمي الزراعي الاول – كلية الزراعة –جامعة كربلاء 2010/12/26. منشور في مجلة كربلاء العلمية عدد خاص.2011.

الفصل السادس

الكبريت

SULFUR



- مقدمة
- اشكال الكبريت والجاهزية
- الكبريت في فسلجة النبات
- الامتصاص والنقل والتمثيل
- الامتصاص الورقي للغازات الكبريتية
- المركبات الكبريتية الرئيسة
- الكبريت في تغذية النباتتحليل التربة
- تحليل التربة
- تحليل النبات
- مستوى الكبريت وصحة النبات
- اكسدة الكبريت واهميتها
- المصادر

الفصل السادس

الكبريت

SULFUR

➢ مقدمة:

توجد مركبات الكبريت في التربة على شكلين عضوي وغيرعضوي. العضوي بشكل أحماض امينية أو كبريتات فينولية ودهون وغير عضوي (معدني) على شكل كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والكبريت S الذي يوجد بشكل ترسبات في باطن الارض.

➢ أشكال الكبريت والجاهزية:

- مركبات الكبريت الذائبة بالماء : وهي الكبريتات الموجودة في محلول التربة والاكثر تيسراً للإمتصاص بوساطة جذور النباتات
- الكبريتات الممتزة على الاسطح الموجبة: عموماً الامتزاز يعتمد على توافر الشحنات المعتمدة على الـpH (pH dependence charge) والشحنات الناتجة عن تكسر الحواف بشكل رئيس ولذا الامتزاز يعتمد على نوع الطين وكميته ونسبة المادة العضوية. الترب ذات القابلية العالية على امتزاز الكبريتات هي الترب ذات درجة تفاعل التربة الحامضي التي تمتلك خاصية التبادل للايونات السالبة (التبادل الانيوني). وبشكل عام فإن قوة الامتزاز بالنسبة للأيونات السالبة (الانيونات) ممكن ان تتبع الترتيب الاتي:

$$PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > NO_3^{1-} \geq Cl^{1-}$$

- الكبريت الموجود في الجزء الصلب من التربة ويشكل جزءً من معادن التربة: ويتواجد بشكل عضوي ولاعضوي. وعموماً يعد الكبريت المرتبط عضوياً هو المصدر الرئيس لاسيما في الترب المحتوية على نسبٍ عالية من المواد العضوية.

الكبريت العضوي يجب ان يتمعدن قبل ان يستطيع النبات الاستفادة منه وهنا نسبة الكاربون الى الكبريت C/S مهمة في هذا المجال. وهناك بيانات تشير الى ان النسبة الاقل من 200 يمكن ان تشجع المعدنة اما النسبة الاعلى من 400 فمن الممكن ان تشجع التثبيت في اجسام الاحياء. تحت ظروف الاختزال والتغذق يتواجد الكبريت بشكل مختزل FeS و FeS_2 و $H_2S\uparrow$.

بشكل عام تعد غازات الكبريت من بين الغازات السامة التي تعد من الملوثات الخطرة لاسيما ماحدث مرةً على الغابات والتي وصل ذروته في السبعينات من القرن الماضي ، والتي اعطت هذا العنصر الاسم "السم الاصفر"، إذ ان اكاسيد ثنائي اوكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين تكون قاتلة عند مستويات ≤ 0.05 مايكروليتر.لتر $^{-1}$ ($\geq 0.05\ \mu LL^{-1}$). ومن اجل المحافظة على البيئة صدر في اوربا ودول اخرى مايسمى بالهواء النقي او النظيف Clear Air في بدايات الثمانينات من القرن الماضي(1980_s). ولذا وبسبب ذلك تناقصت بشكل كبير ومتسارع غازات الكبريت المنبعثة الى الجو لاسيما في اوربا الغربية(كان هناك اوربا غربية وشرقية) .هذا النقص في الكبريت في الجو والتي كان مصدراً في تغذية المحاصيل(الكبريت ممكن ان يمتص من قبل الاجزاء العليا من النبات) والجزء الاخر من الامطار الحامضية (والتي مصدرها الغازات ايضاً) ادى الى انخفاض واضح في الانتاج الزراعي والتي ترافق مع نقص الكبريت. هذا فضلاً عن التغير التي حدث مع استعمال الأسمدة عالية التحليل(التركيز) والتي لا تحوي إلا على جزء قليل من الكبريت مما دعى الى إعادة النظر في موضوع التسميد بالكبريت.

النقص الشديد للكبريت لا يقلل الانتاجية للمحاصيل فحسب بل يؤثر سلباً بالنوعية للمحصول وصحة النبات ونوعية البيئة. علاقة الكبريت بالانتاج والنوعية موثق بشكل جيد في عدد من المراجع العلمية، الا ان البحث في مجال التداخل بين الكبريت والحشرات والامراض موضوع لايزال حديثاً رغم استخدام الكبريت في مقاومة بعض الامراض من قديم الزمان، والدراسات ذات العلاقة اكدت على اهمية التغذية بالكبريت في هذا المجال.

الكبريت في فسلجة النبات:

الكبريت عنصر اساسي في النمو والفعاليات الفسلجية للنباتات، ومن اهم وظائف الكبريت في النباتات:

- يشترك في تكوين بروتينات النبات وعدد من الانزيمات والفيتامينات.
- له علاقة بأنزيم النايتروجنيز لذا فهو مهم في تثبيت النتروجين الجوي تكافلياً.
- يسهم الكبريت في عمليات الاكسدة والاختزال في النبات.

ولهذا يعد الكبريت عصب الفعاليات الحيوية للنبات.

المحتوى الكلي للكبريت في الاجزاء الخضرية للمحاصيل في المدى 0.1 – 2.0 ٪ من الوزن الجاف.

الامتصاص والتمثيل للكبريت والنتروجين في النبات تتداخل بشكل كبير وتعتمد بعضها على البعض الاخر وعند مستوى تجهيز جيد من الكبريت فأن النسبة بين النتروجين العضوي والكبريت العضوي تكون بحدود 20 :1 (org.S: org.N) على اساس مولاري. في معظم الانواع النباتية الجزء الرئيس من الكبريت يكون بشكل سيستيين (cysteine) وميثونيين (methonine) وانواع عدة من الاحماض العضوية الكبريتية. مركبات الكبريت ذات اهمية كبيرة في فعاليات النبات ومهمة بالنسبة لنوعية الغذاء وانتاج العقاقير النباتية phyto-pharmaceuticals.

الامتصاص والنقل وتمثيل الكبريتات:

الامتصاص والنقل للكبريتات يتم بوساطة ناقلات الكبريت البروتينية المعتمدة على الطاقة (تتحرك بانحدار البروتونات المتولدة بالـATP). وهناك مجاميع من هذه الناقلات تصل الى خمس مجاميع ومنها مجاميع تتواجد في الجذور واخرى في الاجزاء العليا.

معظم الكبريتات الممتصة تختزل الى الكبريتيد وبعدها تتحول الى السستيين cysteine ومن ثم تصنيع المركبات الكبريتية العضوية الاخرى، علماً ان الاختزال وبشكل رئيس يحدث في الكلوروبلاست في الجزء العلوي مع ان جزء بسيط منه يحدث في الجذور.

الامتصاص الورقي للغازات الكبريتية:

في المناطق غير الصناعية يحوي الهواء الجوي وبشكل عام تراكيز نزرة من الغازات الكبريتية،اما في المناطق ذات النشاط البركاني والمناطق الصناعية فان هناك مستويات عالية من التلوث الهوائي بالغازات الكبريتية. تواجد ثنائي اوكسيد الكبريت SO_2 بكثرة يمكن ان يعد الاكثر تلويثاً للهواء. ان تأثير ملوثات الهواء الكبريتية في نباتات المحاصيل يبدو غريباً نوعما. خلال إمتصاص SO_2 وH_2S عن طريق الاوراق فانها ممكن ان تتمثل بشكل مباشر وهي تستعمل للنمو على الرغم من تواجد طاقة للسمية. وعلى الرغم من ذلك لايوجد شئ قاطع حول مستوى وسرعة تمثيل الغازات الكبريتية الممتصة وسميتها الحيوية والاسس الفسلجية للاختلاف الواسع في قابلية التحمل للأنواع النباتية المختلفة والموضوع برمته لايزال يشوبه نوع من الغموض. عموماً امتصاص الغازات الكبريتية يتم بشكل كبير وسريع من خلال الثغور لأن الكيوتكل قلما يكون نفاذاً لهذه الغازات وممكن ان توصف العملية بقانون فك للانتشارFick's Law.

المركبات الكبريتية العضوية الرئيسة:

تتواجد المركبات العضوية الحاوية على الكبريت بمجاميع ثلاث وهي المركبات العضوية القابلة للإختزال وتشمل اشكال الاستر والايثر وتشكل حوالي 50٪ من الكبريت ومركبات الكبريت المرتبطة مع الكاربون وتشمل الاحماض الامينية وتشكل 10– 20٪ وهناك مجموعة ثالثة غير مشخصة بشكل جيد.

الاحماض الامينية الحاوية على الكبريت السستين والميثيونين تلعب دوراً مهماً في بناء وهوية ونشاط البروتينات والانزيمات في انسجة النبات الخضرية ولكن مستويات عالية من هذه الاحماض يمكن ان تتواجد في البروتينات المخزونة في البذور. ومن الامثلة المهمة حول اهمية الكبريت هو تأثير إضافة الكبريت في نوعية خبز الحنطة والقابلية لتكوين عجينة جيدة والتي ترتبط بتركيز الاحماض الامينية الكبريتية والكلوتاثايون glutathione. ومن تجارب مختلفة نفذت في المانيا وانكلترا لوحظ ان التأثير في النوعية كان اكبر من التأثير في الكمية .وعموماً لوحظ ان محتوى الكبريت للطحين (الدقيق) ارتبط مع القابلية على انتاج الخبز الـ loaf وان زيادة الكبريت بحدود 0.1 ٪ يعادل 40 – 50 ملي لتر من حجم الخبز. نقص الكبريت يعطي عجينة اقسى واقل قابلية على التمدد والعجينة المصنوعة من طحين جيد المحتوى من الكبريت تمتلك قابلية عالية على التمدد او ما يطلق عليه محلياً بالحنطة الخبّازة.

الكبريت في تغذية النبات:

- **تشخيص حالة الكبريت التغذوية:**

التشخيص المرئي لنقص الكبريت في الحقول المنتِجة يتطلب خبرة جيدة ويتطلب اجراء التحاليل للتربة والنبات للتأكد من ذلك، اذ ان نقص الكبريت اقل تخصصاً ونوعية واصعب بالتشخيص من علامات نقص المغذيات الاخرى. عندما تزرع النباتات بجانب بعضها تحت ظروف نقص او جوع بالكبريت فان المحاصيل تطور علامات نقص الكبريت بالترتيب الاتي: السلجم (canola) يتبع بالبطاطا والبنجر السكري والفاصولياء والبزاليا ومحاصيل الحبوب وفي النهاية الذرة الصفراء.

أنواع من العائلة الصليبية Brassica مثل السلجم تطور علامات نقص مميزة ومحددة من اي محصول يعاني نقص الكبريت و تظهر علامات نقص

الكبريت بشكل مبكر في بداية النمو. وبما ان الكبريت محدود الحركة نسبياً في النبات، فإن علامات النقص تظهر غالباً على النموات الحديثة ويمكن ان تشمل النبات ككل. ويظهر نقص الكبريت على نباتات الجت بشكل نقاط بيضاء على الاوراق العليا تزداد كثافتها مع زيادة النقص لتغطي مساحة اكبر من سطح الورقة.

- تحليل التربة:

تحليل التربة للكبريتات الجاهزة يختلف في تحضير العينات وتركيز ونوع المستخلص ومدة الاستخلاص ونسبة محلول الاستخلاص الى التربة وظروف الاستخلاص وطريقة التقدير للكبريتات في المستخلص. المشكلة الرئيسة في كل التحاليل هو كيفية حفظ العينات لحين اجراء التحليل بدون تغيرات ولاسيما للكبريت التي يتأثر بالتهوية والرطوبة و درجة الحرارة التي تؤثر في معدنة الكبريت. بالاضافة الى الماء هناك عدة مذيبات مثل فوسفات البوتاسيوم او الكالسيوم ثنائية الهيدروجين (KH_2PO_4 او $Ca(H_2PO4)_2$) والتي تعد المستخلصات الاكثر شيوعاً في استخلاص الكبريتات من الترب. وعموماً، المسخلصات الحاوية على الفوسفات تكون ذات كفاءة اعلى من المستخلصات الاخرى مع ان كلوريد الصوديوم يستعمل في الترب التي يتم فيها قياس نترات التربة باستمرار، وهناك من يستعمل راتنجات التبادل الانيوني anion exchange resins.

في الترب ذات التهوية الجيدة (جيدة البزل) فان المادة العضوية للتربة هي الخزان والداعم للكبريتات في محلول التربة ، ولاسيما الجزء المتمعدن من المادة العضوية .ومن الامور المستعملة هنا عملية الحضن ورفع درجات الحرارة وتعديل درجة التفاعل من اجل قياس الكبريت القابل للتمعدن والذي هو الاحتياطي لكبريتات محلول التربة في المناطق التي تعاني من نقص يفضل استعمال الكراموتوكرافي الايوني Ion chromatography الاكثر حساسية ويسمح لتقدير التراكيز الواطئة، وعموماً هناك شبه اجماع بين الباحثين على ان 10 ملغم

SO_4 كغم$^{-1}$ هي القيمة الحرجة للكبريتات الجاهزة في التربة، وتشير الى تربة تعاني من نقص الكبريت باحتمالية عالية.

وعموماً دورة الكبريت في التربة يسيطر عليها من خلال عمليات حيوية وفيزيوكيميائية. الكبريتات نسبياً ذات حركة عالية في التربة وهذه الحركة تتبع الجريان الكتلي. كميات من الكبريتات الممتزة وجدت فقط في الترب التي تحوي نسب طين عالية ومحتوى عالي من اكاسيد الحديد والالمنيوم مع قيم تفاعل تربة اقل من 5. التغاير الفصلي والتي يتأثر بالظروف المناخية يؤثر في مستوى الكبريتات في المحلول ولكن هذا التغاير وقتي. والتغاير المكاني والزمني (التغاير الزمكاني) للكبريتات هو السبب الرئيس في عدم ملائمة فحص التربة في التنبؤ او الاستشراف بحالة الكبريت في التربة المرتبط بالحالة التغذوية للنبات.

المصادر والمصبات للكبريت تتحكم بموازنة الكبريت وهي عبارة عن مدخلات (اسمدة او من الجو او بقايا النباتات والمواد العضوية بشكل عام والمعدنة) او مخرجات (الفقد بالغسل والامتصاص من قبل جذور النباتات). وهناك طريقة واعدة في ادخال بيانات جيومورفولوجية ونسجة التربة والمناخ ونوع المحصول والنظام المائي يمكن ان تعطي امكانية افضل لتقدير الكبريتات.

- تحليل النبات:

العوامل النباتية والاصناف تُظهر تغاير كبير بين تراكيز الكبريت. عموماً العائلة النجيلية تملك مستوى كبريت اوطأ من المحاصيل ثنائية الفلقة، وهناك اختلاف بين الاجناس نفسها .العائلة النباتية ذات القابلية العالية على تراكم الكبريت مثل العائلة الصليبية Brassica تعد ملائمة جداً كمحاصيل مراقبة لتقييم الاختلافات بين المواقع والبيئات او لفحص السريع للنمو. في المحاصيل ثنائية الفلقة تعد الاوراق الفتية كاملة الاتساع هي المصبات (Sinks) الاقوى للكبريت وهي متوافرة في مرحلة النمو الخضري ولذلك مفضلة في تحليل الانسجة

اما محصول السلجم فمن الممكن استعمال اوراقه للتحليل خلال اسبوع بعد التزهير وفي العائلة النجيلية يمكن استعمال اما النبات ككل (كل النبات فوق سطح الارض) بعد ظهور العقدة الاولى وقبل ظهور العقدة الثانية او يمكن استعمال ورقة العلم (flag leaf) التي تعد الافضل للقياس.

بشكل عام يجب اخذ الحذر لتجنب تلوث العينات من الكبريت التي تم رشه على الاوراق اما بشكل سماد او مبيدات حشرية. الماء المستعمل في التنظيف ايضاً يجب التأكد منه لأن المياه ممكن ان تحتوي على كمية من الكبريت. الاكياس الورقية المستعملة للتجفيف والخزن كلها مصادر محتملة وممكنة للتلوث بالكبريت. ومع هذا الخطر ليس كبيراً لأن معظم الكبريت في هذه المصادر قليل الذوبان.

مستوى الكبريت وصحة النبات:

برهن التسميد بالكبريت المضاف الى التربة بشكل كبريتات ان له تأثير مهم في تقليل معدلات الاصابة وشدتها لمحاصيل مختلفة مصابة بالفطريات، اذ ان التسميد بالكبريت زاد من المقاومة ضد امراض فطرية مختلفة لمحاصيل مختلفة مزروعة في البيوت المحمية او تحت الزراعة المشوفة. واعتماداً على هذه النتائج تم تطوير مفهوم اسمه تحفيز المقاومة بالكبريت (sulfur induced " SIR resistance") واصبحت البحوث في هذا المجال اوسع واعمق. المفهوم SIR يشير الى ادخال المقاومة الطبيعية للنباتات وتقويتها ضد الامراض الفطرية من خلال تحفيز العمليات البنائية الحيوية التي تشمل الكبريت من خلال تطبيق استراتيجيات تسميد هادفة. كمية الكبريت المطلوبة المضافة والكبريتات الجاهزة للإمتصاص من قبل جذور النباتات هي المتطلبات الاولية لتحفيز ميكانيكيات مقاومة معتمدة على الكبريت في النبات لذلك المستوى من الكبريت المطلوب وحالة الكبريت التي من الممكن ان تكون اعلى من المتطلبات الفسلجية.

التسميد بالكبريت:

في العراق هناك استعمال للكبريت الزراعي والرغوي والفوسفوجبسم كمواد مصلحة للترب العراقية القاعدية الكلسية ولزيادة جاهزية الفسفور والعناصر المغذية الصغرى. وهناك اهتمام في اضافة الكبريت كمغذٍ للنباتات وخلطه مع الصخر الفوسفاتي من اجل زيادة جاهزيته للنباتات (شاكر 1996 والزاهدي، 2005). والجدول 6 – 1 يبين اهم مصادر الاسمدة الحاوية على الكبريت.

جدول (6 – 1): اهم المصادر الحاوية على الكبريت:

Sources	Formula	% element in fertilizer				
		N	P_2O_5	K_2O	S	others
Ammonium Sulfate	$(NH_4)_2SO_4$	21	-	-	24	-
Magnesium Sulfate	$Mg\ SO_4.7H_2O$	-	-	-	13	10(Mg)
Potassium Sulfate	K_2SO_4	-	-	50	18	
Ammonium polysulfide	$(NH_4)_2S_2O_3.5H_2O$	12	-	-	26	-
Sulfur	S^0	-	-	-	100	
Sulfuric Acid	H_2SO_4	-	-	-	33	
Gypsum	$CaSO_4.2H_2O$	-	-	-	24	-
Single Super Phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2$	-	20	-	14	
TSP or CSP	$Ca(H_2PO_4)_2$		44-53		1.0-1.5	
DAP	$(NH_4)_2\ HPO_4$	18-21	46-53		0-2.0	
Organic Sulfur	-				0.2-1.5	

تستطيع النباتات الافادة من اكاسيد الكبريت الجوي (قدرت الاكاسيد الكبريتية المنطلقة الى الجو عام 1990 بحدود 100 مليون طن متري) اما من خلال ذوبانه مع الامطار ونزوله الى التربة (الامطار الحامضية Acid Rains) او الامتصاص بشكل مباشر عن طريق الاوراق من خلال انتشاره الى داخل الورقة. ومن المهم ان يضاف الكبريت الزراعي قبل مدة من الزراعة تعتمد على ظروف التربة وعموماً تحتاج الى شهرين او اكثر كي تكون هناك فرصة كاملة للأكسدة

والتحول الى الكبريتات. الوقت المناسب والكمية المضافة والمصدر السمادي للكبريت يعتمد على المتطلبات النوعية للمحصول المعين للكبريت وعلى التقنية المستعملة في الاضافة.

الكبريتات تمتص بشكل مباشر بوساطة جذور النباتات اما الاشكال الاخرى مثل الكبريتيت والكبريت بشكل عنصر S فيجب ات تتأكسد قبل الامتصاص وهنا سرعة التحولات تعتمد على التوزيع الحجمي واعداد احياء thiobacillus في التربة (المنصوري، 2000). الوقت المطلوب لاكمال اكسدة الكبريتيت يكون بحدود اسبوعين او اكثر وهذه الاكسدة تتسارع مع توفر الاوكسجين والـpH المناسب ومحتوى رطوبي معتدل. تجهيز غير كافٍ من الكبريت لايقلل انتاجية المحاصيل فقط ويؤثر سلباَ في النوعية وصحة النبات ولكن سيؤثر سلباَ في كفاءة استعمال النتروجين. التسميد بالكبريت يشجع اختزال النترات وبالتالي يحدد ويوقف تجمع النترات في الانسجة الخضرية.

أكسدة الكبريت واهميتها:

تمتص النباتات الكبريت على شكل كبريتات (SO_4^{2-}) ولذلك عملية الاكسدة مهمة وتتم كما يأتي:

$$H_2S + 2\ O_2 \rightarrow H_2SO_4$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2\ H_2SO_4$$

وهذة العملية كيموحيوية لأنها تتم بوساطة احياء هوائية (Thiobacillus) ذاتية التغذية وبعض الاحياء متباينة التغذية وهي عملية مولدة للحموضة. وهذه العملية يمكن ان تتم كيميائياً الا ان عملية الاكسدة الكيميائية بطيئة جداً وتواجد الاحياء تسرعها بشكل كبير. عملية اكسدة الكبريت تتأثر بعوامل عدة في التربة منها درجة الحرارة (الدرجة المثلى 25 – 45^0 مئوية). ان عملية اكسدة الكبريت عملية مستمرة في التربة لذلك من النادر ان نجد الكبريت على هيئة S على الرغم من تواجده في بعض معادن التربة مثل البايرايت (كبريتيد الزنك).

مراجع مهمة:

- Havlin , J.L.; Beaton , J. D. ; Tisdale ,S .L. & Nelson ,W.L.(2005)Soil fertility & Fertilizers" An Introduction to Nutrient Management"7th Ed. Prentice Hall . New Jersey.
- Silvia Haneklaus; Elke Bloem, ; Ewald Schnug ; Luit J. de Kok and Ineke Stulen (2007) in Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.

(المصدر مترجم من قبل د. نورالدين شوقي علي 2011 تحت النشر).

- Tabatabai & A. Alkafaji, (1980). Soil SC.Soc.Am.J. 44:1000-
- الزاهدي، وليد فليح، 2005. تأثير الكبريت الزراعي ومخلفات الدواجن والصخر الفوسفاتي في جاهزية وامتصاص الفسفور وبعض العناصر المغذية ونمو وحاصل الحنطة. رسالة ماجستير. قسم علوم التربة والمياه –كلية الزراعة –جامعة بغداد.
- شاكر، عبدالوهاب عبدالرزاق. 1996. تاثير ألكبريت الرغوي قي جاهزية بعض العناصر الغذائية في التربة وانتاج الخيار في البيوت البلاستيكية. اطروحة دكتوراه. قسم علوم التربة والمياه– كلية الزراعة –جامعة بغداد.
- المنصوري، جمال علي قاسم. 2000. الاكسدة الاحيائية للكبريت في الترب الكلسية. اطروحة دكتوراه.قسم علوم التربة والمياه– كلية الزراعة –جامعة بغداد.

الفصل السابع

الكالسيوم والمغنيسيوم



- الكالسيوم
- جاهزية صور الكالسيوم
- دور الكالسيوم في النبات
- مصادر الكالسيوم
- المغنيسيوم
- دور المغنيسيوم في النبات
- التداخل بين المغنيسيوم والمغذيات الاخرى
- صور المغنيسيوم في الترب
- اسمدة المغنيسيوم



الفصل السابع

الكالسيوم والمغنيسيوم

الكالسيوم Calcium:

في ترب المناطق الرطبة والترب الحامضية فان الالمنيوم يسيطر على السعة التبادلية للايونات الموجبة، بينما في ترب المناطق المتعادلة الى القاعدية فان الكالسيوم يشغل معظم مواقع التبادل. كالسيوم محلول التربة والكالسيوم المتبادل في توازن ديناميكي ويوفر معظم الكالسيوم الجاهز للنبات. وعموماً فسلوك الكالسيوم المضاف اقل تعقيداً في التربة وبشكل مبسط فأن الكالسيوم من الممكن ان يكون:

1. ذائب في محلول التربةsoluble.
2. متبادل على الاسطح exchangeable.
3. يمتص بوساطة جذور النباتات Up taken by plant roots.
4. يعاد ترسيبه بشكل معادن كالسيوم ثانوية calcium minerals لاسيما في ترب المناطق الجافة.
5. يغسل مع ماء البزل (بكميات ليست كبيرة نسبياً) عند توافر ظروف الغسل leaching losses.

جاهزية صور الكالسيوم:

- كالسيوم محلول التربة: الكالسيوم الذائب والأكثر جاهزية للامتصاص من قبل النبات.
- الكالسيوم المتبادل: ممتز على غرويات التربة المختلفة وهو قابل للتجهيز ويعد مخزناً للكالسيوم في التربة ومجهز للنبات.
- الكالسيوم قليل الجاهزية او يعد غير جاهز في الغالب: وهو الكالسيوم الموجود في المعادن الاولية او بشكل معادن ثانوية، ومنها كاربونات الكالسيوم (معادن

الكاربونات عموماً) وكبريتات الكالسيوم التي تتواجد بنسب عالية في الترب العراقية.

دور الكالسيوم في النبات:

النباتات تمتص الكالسيوم Ca^{2+} من محلول التربة وتكون ميكانيكيتي الجريان الكتلي وتقاطع الجذور هي المسؤولة بشكل رئيس عن نقل الكالسيوم الى جذور النباتات. تركيز الكالسيوم في النباتات يتراوح بين 0.2-1.0٪ (على اساس الكتلة الجافة).

وعموماً فإن وظائف الكالسيوم في النباتات هي:

- التأثير في غشاء الخلية وجدارها: يدخل في تركيب جدران الخلايا على شكل بكتات الكالسيوم ولذلك فهو مهم في نمو النسيج المرستيمي وصلابة جدران الخلايا وتكون النباتات اقل عرضة للاصابة بالمسببات المرضية والحشرية وتقليل التعرض للإضطجاع اذ ان الكالسيوم عنصر رئيس أو يعد مفتاحاً في بناء جدران الخلايا الأولية. يدخل في تركيب غشاء الخلايا ولذا تواجده مهم في الاختيارية في امتصاص العناصر المغذية و يرفع كفاءة النبات في امتصاص البوتاسيوم وعموماً ينظم امتصاص الايونات الموجبة. لاحظ Epstein ان أغشية الخلايا تصبح ناضحة أو بها نوع من التسريب عندما تنمى النباتات في وسط ينقصه الكالسيوم وهنا تفقد الاختيارية الأيونية.
- يخلص النباتات من السمية بحامض الاوكزاليك من خلال ترسيبه على شكل اوكزالات الكالسيوم.
- يسهم مع البوتاسيوم في تنظيم الجهد الازموزي ونقل المواد المصنعة في الاوراق الى حيث ما يحتاجها النبات (بذور، ثمار، درنات).
- للكالسيوم دور مهم في تكوين العقد الجذرية المسؤولة عن تثبيت النتروجين الجوي، ويشجع امتصاص النترات.

- الكالسيوم اساسي في استطالة الخلايا وانقسامها. اذ ان نقصه يقلل تطور البراعم الجانبية للاجزاء العلياوالاطراف القمية للجذوروالتي تؤدي الى توقف نمو النباتات. ومثال ذلك في نباتات الذرة الصفراء فان نقص الكالسيوم يمنع ظهور وتفتح وانبساط الاوراق حديثة التكوين.

بشكل عام امتصاص الكالسيوم قليل لأنه يتم من خلال الاجزاء الفتية ولاسيما رؤوس الشعيرات الجذرية ويقل الامتصاص مع تثخن الخلايا.

ومع ان نقص الكالسيوم نادراً في الترب الزراعية ذات التفاعل المائل للقاعدية وشائع في الترب الحامضية إلا أن المشكلة في انتقال الكالسيوم من التربة الى الأجزاء العليا وبين أجزاء النباتات المختلفة وذلك لأنه عنصر بطئ الحركة او معدوم الحركة داخل النباتات ولذلك تظهر اعراض النقص على قمم الاوراق والنباتات والثمار لسوء في التوزيع داخل النبات وقصور في النقل والتجهيز.

وبشكل عام تعد عملية اضافة المركبات الحاوية على الكالسيوم عملية إدارية مهمة في الترب الحامضية وتوسعت هذه الأيام حتى في الترب الكلسية ومنها الترب العراقية لأهمية الكالسيوم في التأثير في نوعية الثمار وقابليتها الخزنية (علي، 2012).

نقص الكالسيوم (الشكل 1.7) يرتبط بعدد من الامراض الفسيولوجية التي تظهر على بعض محاصيل الخضر مثل تعفن الطرف الزهري (Blossom End Rot) في الطماطه واللب المر(Bitter pit) في التفاح والنقرة الفارغة (Cavity spot) في الجزر والقلب الاسود(Black heart) في اللهانة والكرفس. نقص الكالسيوم يؤدي إلى تفكك وضعف في جدار وغشاء الخلية مما يسمح ويسهل الأمراض والحشرات على إصابة هذه البقع وتظهر متعفنة أو بشكل مر أو فارغة. واثبتت العديد من الابحاث ان رش النبات او الثمار بمحلول يحوي

على الكالسيوم لاسيما نترات الكالسيوم او كلوريد الكالسيوم قلل من الاصابة بهذه الأمراض مما يؤكد ان المسبب هو نقص الكالسيوم.



شكل (1.7) تعفن الطرف الزهري في الطماطة

مصادر الكالسيوم واسمدته:

المصادر الرئيسة للكالسيوم في الترب الحامضية هي المواد المستعملة في استصلاح هذه الترب مثل كاربونات الكالسيوم و كاربونات الكالسيوم المغنيسيوم او مركبات الكلس بشكل عام. اما في الترب الاخرى التي تنتفي فيها الحاجة الى تعديل الحموضة فيمكن استعمال الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية). والكالسيوم موجود في عدة مواد سمادية تشمل السوبر فوسفات الثلاثي (12-13 ٪ كالسيوم) والسوبر فوسفات الاعتيادي (18-20 ٪ كالسيوم) ونترات الكالسيوم (19 ٪ كالسيوم).

المغنيسيوم Magnesium:

الكلمة مغنيسيوم مشتقة من مغنيسيا لمقاطعة مغنيسيا في اليونان والتي فيها تم تعدين أول صخرة مغنيسيوم. مع هذا، هناك مدن أخرى سميت على هذا الاسم لوجود ترسبات هذا العنصر في مناطقهم المحلية. من أقدم الحالات التي ذكر فيها نقص المغنيسيوم في النباتات عام 1923 على التبغ وأطلق عليها "غارق في

الرمل" "Sand drown"، وذلك لأن الظروف المناخية التي ارتبطت مع نقص الـMg حدثت في ترب رملية مغسولة جدا و بعد 100 سنة أخرى أصبح المغنيسيوم ذا اهتمام عالمي، عندما اقترح العلماء أن نقص Mg ممكن أن يكون أحد العوامل الرئيسة في تدهور الغابات في أوربا وأمريكا الشمالية وهذا المرض من المحتمل أن يكون نتيجة غير مباشرة لخفض pH التربة بسبب الأمطار الحامضية، والتي يمكن أن تسبب غسل Mg كما هو الحال للعناصر القاعدية الأخرى.

المغنيسيوم عنصر أساسي أيضاً للحيوانات، إذا كانت المحاصيل الورقية ولاسيما محاصيل الحشائش والاعلاف واطئة المحتوى من المغنيسيوم فإن الحيوانات التي ترعى هذه الحشائش يمكن أن يتطور بها مرض اسمه hypomagnesia، وأحياناً يطلق عليه كزاز الحشائش Grass tetany. لهذا السبب عدد من الدراسات نفذت حول تغذية Mg للمحاصيل العلفية أو الورقية بشكل عام من أجل منع هذا المرض. وهناك عدد من الوسائل لتلافي هذا النقص وهي اما من خلال التسميد للتربة بالمغنيسيوم كي يمتص من قبل النبات ويتغذى الحيوان على حشائش غنية بالمغنيسيوم (كما هو الحال في بعض الدول مثل نيوزيلندة ضمن مفهوم العلاقة بين التربة والنبات والحيوان) او من خلال رش العليقة بأملاح المغنيسيوم.

دور المغنيسيوم في النباتات:

- يعد الجزء المركزي لمادة الكلوروفيل.
- يعمل ناقلاً للفسفور.
- له دور مهم في تثبيت النتروجين الجوي.

المغنيسيوم له دور أساسي فسيولوجي وجزيئي في النباتات، مثل كونه مكون للكلوروفيل، عامل مساعد لعدد من العمليات الأنزيمية ترتبط مع الفسفرة الضوئية وعكس الفسفرة الضوئية والتحلل المائي لعدد من المركبات، ومثبت تركيبي لجزيئات مختلفة. الدراسات أشارت إلى أن 15-30٪ من المغنيسيوم الكلي في

النباتات ترتبط مع أو تدخل ضمن جزيئة الكلوروفيل. البقية ترتبط مع دور الـMg كعامل مساعد في عمليات أنزيمية مختلفة. وبما أن الـMg هو مكون مكمل لجزيئة الكلوروفيل والعمليات الأنزيمية المرتبطة مع التيار الضوئي والتنفس، فإن تمثيل الكاربون وتحولات الطاقة ستتأثر بشكل مباشر بالكميات غير الكافية للمغنيسيوم. المغنيسيوم يمكن أن يؤثر في مواضيع مختلفة فسيولوجية أخرى لها علاقة بالعلاقات المائية للورقة. نقص المغنيسيوم يمكن أن يقلل أو يضغط الزيادة الكلية في كتلة النبات أو بشكل خاص نمو الجذور أو السيقان. مع هذا، المدى الذي يحدث فيه التثبيط للنمو يعتمد على شدة النقص، نوع النبات، مرحلة نمو النبات، الظروف المناخية المحيطة، والمستوى التغذوي للنبات بشكل عام. في الرازبري (نوع من الثمار الصغيرة) (Rubus spp. L.) نمو وتشجيع جيد للسيقان ارتبط مع زيادة الـMg في الأوراق.

علامات النقص والزيادة:

على أساس فسلجي، نقص المغنيسيوم يظهر أولاً بشكل تجمع للنشاء في الأوراق والذي من المحتمل ان يكون له ارتباط مع نقصان مبكر في نمو النبات ونقص في توزيع الكاربوهيدرات من الأوراق إلى المصبات المتطورة (الاماكن التي تحتاج وتجمع المغنيسيوم). العملية تتبع بظهور الاصفرار في الأوراق القديمة ويشكل أنماط يمكن أن يوضح بالعمليات الفسلجية المرتبطة مع امتصاص Mg، والنقل والتمثيل في النباتات. المغنيسيوم من الناحية الفسلجية متحرك ضمن النباتات و لذلك، إذا كان التجهيز قليل من الرايزوسفير فإن المغنيسيوم يمكن أن يعاد توزيعه من الأجزاء القديمة وينقل خلال اللحاء إلى المصبات النامية الفعالة. بسبب هذه الحركة ضمن النباتات، فإن علامات النقص تظهر أولاً على الأوراق الاكثر قدماً (شكل 2.7). العلامات الأولية لنقص المغنيسيوم تظهر بشكل لون أقل شدةً واصفرار لقمم الأوراق، والتي تتطور مابين العروق باتجاه القاعدة والعرق الوسطي للأوراق، معطيةً لون موزائيك أو مايشبه عظام السمكة. في المراحل المتأخرة من التطور، نقص الـ Mg يمكن أن يكون أصعب في التشخيص من نقص K. تحت النقص

المتوسط، يمكن أن يحدث مانسميه نمط حرف V اصفرار بين عروق الورقة تتطور في ثنائية الفلقة نتيجة انفصال للـMg من الكلوروفيل ناتجة عن تدهور في الكلوروفيل. في الصنوبريات، نقص خفيف للـMg يظهر بشكل تحول الأوراق القديمة إلى اللون البني (نهايات الأوراق الأبرية تكون بنية اللون) (0.1٪ تركيز Mg) وفي النقص الشديد داخل الورقة الأبرية يتحول إلى بني . وعلى أساس كل النبات، فإن علامات النقص يمكن أن تظهر فقط على أجزاء الأوراق أو النبات المعرضة للشمس، مع بقاء الأوراق أو أجزاء النبات الموجودة في المناطق المظللة خضراء. تحت النقص الشديد فإن العلامات تظهر على الأوراق القديمة التي تصبح مثقبة وتشيخ مع اصفرار في مابين عروق الاوراق يتطور نحو الأوراق الحديثة التكوين. المغنيسيوم له أدوار في تصنيع وبناء البروتين الذي يؤثر في حجم وبناء ونشاط الكلوروفيل.



شكل (2.7) نقص المغنيسيوم على اوراق نباتات مختلفة

التداخل بين المغنيسيوم والمغذيات الأخرى:

علامات نقص Mg يمكن أن تتأسس مع علاقات متضادة بين أيونات المغنيسيوم (Mg^{2+}) والأيونات الموجبة الشحنة الأخرى مثل (H^{+}) وNH^{+}_{4} و Ca^{2+} وK^{+} و الصوديوم Na^{+}. تنافس المغنيسيوم على الامتصاص يمكن ان يكون على النحو الآتي من الأعلى إلى الأوطأ:

$$K^{+} > NH^{+}_{4} > Ca^{2+} > Na^{+}$$

هذه الأيونات الموجبة تستطيع المنافسة على مواقع الارتباط لغرويات التربة، مما يؤدي إلى زيادة المغنيسيوم المفقود بالغسل بعد خروجه من مواقع التبادل (هذا على افتراض انه غير مطلوب من قبل النبات).

داخل النباتات، هناك علاقة تضاد أيضاً بين المغنيسيوم والأيونات الموجبة الأخرى لما له علاقة بالألفة لمواقع الربط المختلفة ضمن غشاء الخلية، ودرجة التأثير ترتبط بنوع موقع الربط (الدهون، البروتينات أو المخلبيات...)، ودرجة تميؤ الأيون الموجب. هذه التداخلات البايوكيميائية (الكيميائية الحياتية) تنتج من منافسة الأيونات الموجبة الأخرى للمغنيسيوم على الامتصاص إلى داخل الجذور والانتقال إلى الأعلى والتمثيل في داخل النبات.

- **البوتاسيوم والمغنيسيوم:**

زيادة التسميد بالبوتاسيوم أو جاهزية عالية للبوتاسيوم، نسبة إلى المغنيسيوم ستؤثر سلباً في امتصاص Mg وتجمع المغنيسيوم والعكس صحيح ودرجة هذا التضاد تعتمد على معدلات إضافة K أو Mg، هذا فضلاً عن نسبة أحد هذين المغذيين للآخر. التسميد بكلوريد البوتاسيوم زاد من حجم نبات القطن ووزن البذور ووزن التيلة وزاد من كفاءة استعمال النتروجين، ولكن كان له تأثير سلبي في تجمع المغنيسيوم في أجزاء مختلفة من النبات.

- الكالسيوم والمغنيسيوم:

تراكيز عالية للكالسيوم في الرايزوسفير نسبةً إلى المغنيسيوم يكون مثبطاً لإمتصاص المغنيسيوم والعكس صحيح.

- النتروجين والمغنيسيوم:

النتروجين يمكن أن يثبط أو يشجع امتصاص Mg وتجمعه في النبات اعتماداً على مصدر أو شكل النتروجين المضاف. إذ ان الامونيوم يمكن ان يتنافس مع المغنيسوم بينما النترات يمكن ان تشجع من امتصاصه.

- الفسفور والمغنيسيوم:

أيونات الفوسفات لها تأثير تشجيعي Synergistic في تجمع المغنيسيوم في النبات، والعكس صحيح. هذه الصفة ترتبط مع التوازن الأيوني الذي له علاقة بامتصاص الأيونات الموجبة والأيونات السالبة إلى داخل النبات بالإضافة إلى زيادة نمو الجذور التي تلاحظ أحياناً مع التسميد بالفسفور.

- النحاس والمغنيسيوم:

كما هو الحال في العناصر المغذية الصغرى النحاس هو مغذي نباتي، مطلوب بتراكيز واطئة جداً مما يؤدي إلى وصوله إلى تراكيز سمية قبل أن يحدث تثبيط مع المغنيسيوم.

تراكيز المغنيسيوم في النباتات:

يتواجد المغنيسيوم في النبات بأشكال مختلفة. في دراسات مع الحشائش الورقية تم قياس المغنيسيوم الذائب بالماء والذائب بالاستون والمركبات غير الذائبة،

هذه الأشكال موجودة في اللحاء والخشب والسايتوبلازم (الأجزاء الذائبة بالماء)، الكلوروفيل (الأجزاء الذائبة بالاستون) ومركبات جدار الخلية (غير الذائبة).

التوزيع في النباتات:

في الذرة الصفراء تركيز Mg المثالي في الورقة قد يكون بين 0.13 – 0.18٪ لأقصى إنتاج للذرة الصفراء و مع الخوخ التركيز الحرج أو التركيز الهامشي للمغنيسيوم في الأوراق كان بحدود 0.2٪ على أساس الوزن الجاف اعتماداً على ظهور العلامات للنقص ولكن بدون تأثير سلبي في النمو عند هذا التركيز. وعموماً تركيز المغنيسيوم يتراوح بين0.1-0.5٪ على أساس الكتلة الجافة. مع هذا، تركيز Mg الكلي يمكن أن يختلف بشكل كبير بين العوائل النباتية المختلفة. البقوليات يمكن أن تملك ضعف المغنيسيوم لمعظم محاصيل الحبوب وبالمثل، محاصيل البذور الزيتية والمحاصيل الجذرية يمكن أن تحوي تراكيز عالية من Mg.

صور المغنيسيوم في الترب:

كما هو الحال في العناصر المعدنية فإن خزان المغنيسيوم في التربة (خزان مغنيسيوم الترب يتكون من ثلاثة أجزاء: غير المتبادل والمتبادل والجزء الذائب بالماء. الجزء غير المتبادل يتواجد فيه المغنيسيوم في المعادن الأولية مثل البايوتايت والدولمايت والهورنبلند والاولفين وعدد كبير من معادن الطين الثانوية مثل معادن الكلورايت واللإيت والفيرمكيولايت. الجزء المتبادل يمكن أن يكون حوالي 5٪ من المغنيسيوم الكلي في التربة، وتراكيز Mg في محلول التربة بشكل مثالي في المدى 0.7-7.0 ملي مولاري، ولكن يمكن أن تصبح عالية لحد 100 ملي مولاري.

فحص التربة:

تم تطوير عدد من الطرائق لاستخلاص المغنيسيوم المتبادل في التربة. في معظم الترب، فإن المغنيسيوم يمكن أن يستخلص مع محلول يحوي خلات الأمونيوم او $CaCl_2$ أو مع الماء ومع هذا للترب ذات CEC الواطئة يوصى باستعمال المستخلصات الحامضية. للترب القاعدية فإن الاستخلاص بالماء مفيد لتقييم حالة المغنيسيوم .

مصادر المغنيسيوم السمادية:

مصادر المغنيسيوم العضوية تتضمن معظم أنواع الدمن أو المخلفات وجاهزية المغنيسيوم للنبات من الأسمدة المختلفة تحدد بالذوبانية بالماء للمركب السمادي ومعدل أو سرعة التحرر من أغلفة الأسمدة (إذا كانت الأسمدة مغلفة بالكبريت) وحجوم الدقائق، وهنا الدقائق الأنعم تكون أكثر ذوباناً وأسرع من الأسمدة الخشنة. تراكيز المغنيسيوم وخواص الذوبانية لبعض أسمدة المغنيسيوم شائعة الاستعمال مبينة في الجدول7–1 ويعد سماد ابسوم اوكبريتات المغنيسيوم سباعية الماء من افضل انواع اسمدة المغنيسيوم من حيث الذوبانية بالماء.

جدول (7–1) الأسمدة الحاوية على المغنيسيوم ونسب المغنيسيوم التقريبية فيها:

%Mg	الصيغة	السماد
10	$MgSO_4.7H_2O$	ملح ابسوم Epsom
18	$MgSO_4.H_2O$	Kieseritc
12	$K_2SO_4.2MgSO_4$	كبريتات البوتاسيوم – المغنيسيوم
29	$MgCO_3$	كاربونات المغنيسيوم (مغنسايت)
13.1 -11.7	$CaCO_3$ $MgCO_3$	الدولمايت
10	$Mg(NO_3)_26H_2O$	نترات المغنيسيوم
16	$MgNH_4PO_4.H_2O$	فوسفات المغنيسيوم الامونيوم
2.9 -0.8 كغم/1000كغم		دمن حيواني

المصادر:

- Donald J. Merha (2007) Magnesium .in Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. & Nelson, W.L.(2005)Soil fertility & Fertilizers "An Introduction to Nutrient Management"7^{th} Ed. Prentice Hall . New Jersey.
- Perk Marcel van der.2006.Soil and Water Contamination. Taylor & Francis. London

الفصل الثامن

المغذيات الصغرى

Micronutrients

- مقدمة
- الحديد
- المنغنيز
- الزنك
- البورون
- النحاس
- الموليبدنم
- الكلوريد
- النيكل
- العناصر المفيدة
- الكوبلت
- السليكون
- الصوديوم
- الفاناديوم
- السلينيوم



الفصل الثامن

المغذيات الصغرى

Micronutrients

1.8 مقدمة:

المغذيات الصغرى مساوية من حيث الأهمية للمغذيات الكبرى الا انها تضاف الى التربة والنباتات بكميات اقل بكثير. النباتات التي تعاني من نقص هذه العناصر تظهر نقصاً في الانتاج ورداءة في النوعية وقد لاتستطيع النباتات اكمال دورات حياتها عند النقص الشديد كما يحدث للنباتات المعرضة لنقص المغذيات الكبرى.وعموماً علامات النقص تظهر غالباً على محاصيل معينة وتربٍ معينة.ومع هذا ومع الزراعة الكثيفة والمحمية وتَبَني الاصناف عالية الانتاجية والتغير في عمليات ادارة التربة سيكون للتسميد بهذه المغذيات دور كبير للوصول الى طاقة الانتاج العظمى التي لا تتحقق بدون إضافتها. وتشمل المغذيات الصغرى الحديد Fe والزنك Zn والمنغنيز Mn والنحاس Cu والموليبدنم Mo والبورون B والكلوريد Cl والنيكل Ni، ويبين الجدول 1.8 الاتي مدى تراكيز المغذيات الصغرى في المادة الجافة لنباتات مختلفة وصور امتصاصها:

جدول (1.8): المغذيات الصغرى وصور امتصاصها وتراكيزها في الورقة على اساس الوزن الجاف.

المغذيات الصغرى	الصور التي تمتص من قبل النبات	التركيز في الورقة على اساس الوزن الجاف (مايكروغرام غم$^{-1}$ نبات)
الحديد	Fe^{2+} بشكل رئيس و Fe^{3+}	150- 250
المنغنيز	Mn^{2+}	100- 200
البورون	BO_3^{2-}، H_3BO_3، $B_4O_7^{2-}$، $H_3BO_3^{2-}$	50- 100
الزنك	Zn^{2+}	50- 100

المغذيات الصغرى	الصور التي تمتص من قبل النبات	التركيز في الورقة على اساس الوزن الجاف (مايكروغرام غم$^{-1}$ نبات)
الكلوريد	Cl^-	150 -100
المولبدينم	MoO_4^{2-}	1.0 -0.1
النحاس	Cu^{2+}	10.0 -5.0
النيكل	Ni^{2+}	5.0-0.01

وتتواجد المغذيات الصغرى في التربة على الصور الاتية:

- اما بشكل ذائب في محلول التربة والتي يكون في توازن مع المعقدات الاخرى في التربة.
- او ضمن المواد العضوية وأجسام الأحياء ألمجهريه في التربة. وهنا يكون مندمجاً مع النظام الحيوي وجزءً من المواد العضوية او مرتبطاً معها بنظام معين.
- او ممتزة على اسطح الامتزاز. والامتزاز يمكن ان يكون سطحي او حتى كيميائي عند دخول الايون المعدني الموجب الى داخل البلورة.والامتزاز للعناصر مثل الزنك والنحاس يكون اقوى من العناصر الموجبة الاخرى.
- او جزء من التركيب المعدني للمعادن الاولية والثانوية.

والمديات المختلفة لمستويات المغذيات الصغرى ومستواها في ترب المناطق الجافة (ملغم كغم تربة$^{-1}$) (جزء بالمليون ppm) مبينة في الجدول 2.8 الاتي:

جدول (2.8) تراكيز بعض المغذيات الصغرى ومدى كفايتها للنباتات في ترب المناطق الجافة:

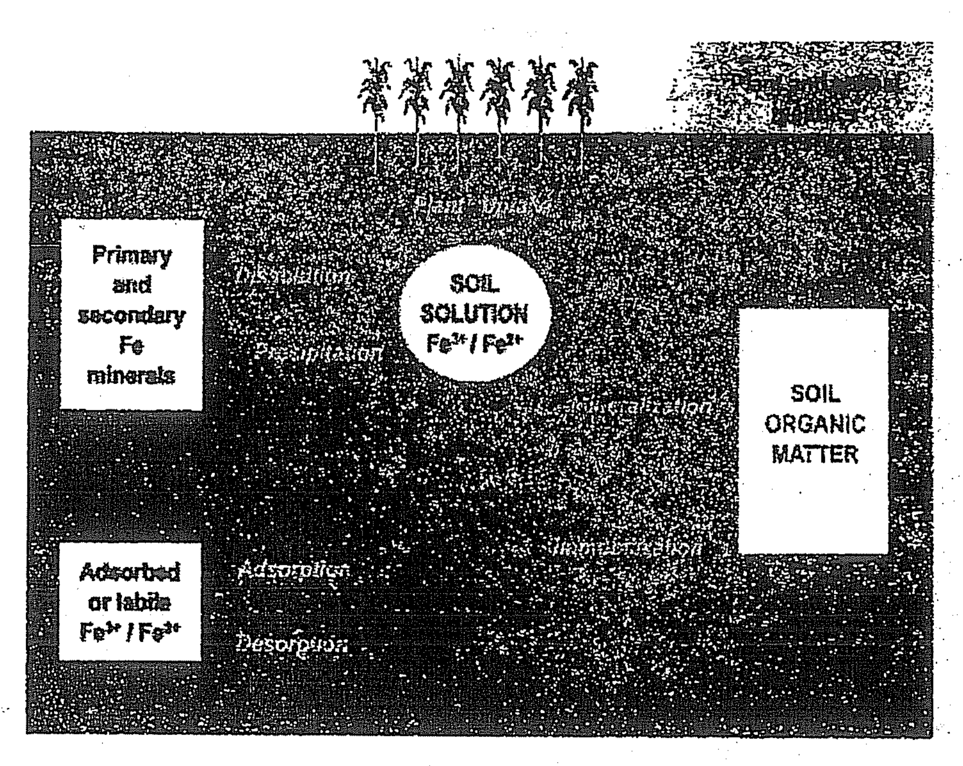
العنصر المغذي(*)	مستوى التركيز(ملغم مغذي كغم⁻¹ تربة)				
	منخفض جداً	منخفض	متوسط	عالي	عالي جداً
الحديد	2-0	4-2	6-4	10-6	10<
الزنك	0.5-0	1.5-0.5	4-1.5	6-4	6<
المنغنيز	0.5-0	2-0.5	5-2	10-5	10<
النحاس	0.1-0	0.3-0.1	0.8-0.3	3.0-0.8	3<
البورون(**)	0.5-0	1.0-0.5	2-1	4-2	4<(**)
المولبدنيوم	-	0.1-0	2-0.1	5-2	10-5<

(*) الاستخلاص بالـDTPA

(**) عند مستوى اعلى من 10ملغم بورون كغم⁻¹ يصل محتوى البورون مستوى السمية

المصدر: محور عن دليل استخدام الاسمدة في الشرق الادنى بشور واخرون FAO 2007

دورة المغذيات الصغرى يمكن ان تكون بشكل عام كما في الشكل 1.8، ومع ان المخطط يوضح دورة الحديد الا ان المغذيات الصغرى الموجبة الاخرى تسلك سلوك مشابه:



الشكل (1.8) مخطط لتحولات الحديد او دورة الحديد.

2.8 الحديد Iron:

الحديد اساسي في بناء وصناعة الكلوروفيل وهذا هو السبب وراء ظهور علامات الاصفرار عند نقصه.

❖ الوظائف في النبات:

قابلية الحديد في تغيير التكافؤ يعد الاكثر اهمية في وظائف الحديد وكما موضح في المعادلة الاتية:

$$Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+} + electron$$

$$Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$$

قابلية الحديد على تبديل الشحنات له دور مهم في عملية الاكسدة والاختزال ويعمل على تعديل جهد الاكسدة والاختزال Redox potential (Pe هو Eh). الحديد مكون رئيسي لجزيئات البورفيرين molecules porphyrin (السايتوكرومات cytochromes والهيماتين hematin والهيموغلوبين البقولي leghemoglobin) المشتركة في تفاعلات الاكسدة والاختزال في التنفس وعملية التمثيل الضوئي. المركبات الحاوية على الحديد تتوسط اختزال الاوكسجين الى الماء خلال التنفس والحديد مكون لإنزيم النايتروجنيز الاساسي لبكتريا تثبيت النتروجين الجوي. ومع ان الحديد ليس مكون اساسي للكلوروفيل الا انه اساسي في التمثيل والبناء الحيوي للكلوروفيل وفي تثبيت النتروجين واختزال النترات لكون الحديد مكون اساسي للنتروجنيز. مدى الكفاية للحديد في النسيج النباتي بشكلٍ عام بين 50 و250 ملغم كغم$^{-1}$ مادة جافة وعندما يكون المحتوى اقل من 50 ملغم كغم$^{-1}$ مادة جافة فإن احتمالية ظهور علامات النقص واردة وإحتمالات الاستجابة تكون واردة والتراكيز الملائمة لعدد من المحاصيل مبينة في الجدول 3.8 الاتي:

جدول (3.8): تراكيز الحديد المناسبة لنباتات مختلفة

التركيز في المادة الجافة ملغم كغم[1] Concentration in Dry Matter ($mg\ kg^{-1}$)			نوع وسط النمو Type of culture	جزء النبات Plant part	النبات Plant spp.
الملاحظات comments	ملاءم adequate	نقص deficient			
—	224	24	محلول مغذي معقم Sterile nutrient culture	الاجزاء العليا Uppernsh oot	البصل Allium sativum L. (onion)
	80–50	50>	محلول مغذي Solution culture	الاجزاء العليا كلها Whole shoots	الشوفان Avena sativa L. (oats)
عند مرحلة 5٪ من تكوين الراس	119	117	حقل فلاح Farmers fields	الاوراق Leaves	القرنابيط Brassica oleracea var Br. botrytis L. (cauliflower)
Values for nitrate/ culture	170 –130	70 –60	محلول مغذي nutrient culture	السيقان والاوراق . Shoot	الحمص Cicer arietinum (chickpea) L
	1830 – 1570	210 –180	وسط عضوي	roots	الجزر Daucus carota L. (carrot)
	77 –70	45 –42	حقل field	البذور seeds	فول الصويا Glycine max (soybean)
		اقل من 47	تربة	الاوراق+ السيقان	القطن Gossypium hirsutum L.
	100 –78	50 –34	محلول مغذي	الاوراق	زهرة الشمس Helianthus annuus L. (sunflower)
10% of plants in bloom	119	87	حقل فلاح	الاوراق	الجت Medicago sativa L.(alfalfa)
10% of plants in bloom 10٪ تزهير	93		حقل فلاح	الاوراق	البرسيم Trifolium pretense L .(red clover)

Note: Values in dry matter. The concept of 'deficient' and 'adequate' concentrations is problematic because of the chlorosis paradox

أشكال وصور الحديد في الترب:

يبلغ محتوى الترب من الحديد بشكلٍ عام وكمتوسط 38 غم كغم$^{-1}$ تربة(3.8٪)، الا ان المحتوى الجاهز لايتجاوز 0.02٪من الكلي. يتواجد الحديد في الترب على شكل معادن اولية primary minerals كالهوربلندHornblende والاولفين Olivine والأوكايت Augite وعلى صور اكاسيد كالهمتايت Hematite وهيدروكسيدات كالجثايت (goethite) ويوجد في المعادن الثانوية كمعادن الاطيان وذوبانية الحديد في هذه المعادن واطئة جداً.

يتواجد الحديد بشكل الحديد الثلاثي(Fe^{3+} (ferric, Fe(III) والحديد الثنائي ((ferrous Fe(II)) وسيادة اي من الصورتين تعتمد على حالة الاكسدة والاختزال وpH التربة. ومع زيادة درجة تفاعل الوسط الـpH من 4 الى 8 تنخفض تراكيز الحديدوز من 10^{-8} الى 10^{-20}مولاري.ان الحد الادنى لذوبانية الحديد تكون عند درجة التفاعل 7 الى 8.5. النبات يمتص الحديد الثنائي Fe^{2+} والى درجة اقل الحديد الثلاثي Fe^{3+} الحديد الثنائي اكثر ذوبانية من الحديد الثلاثي ولذا العامل الأكثر سيطرة على ذوبانية الحديد هو تفاعل الاكسدة من الحديد الثنائي الى الثلاثي وتفاعل الاختزال المعاكس.

الطبقات الاعلى من التربة تتميز بلون فاتح لأن الحديد مع الدبال وبعد عملية التغليف يعطي هذا اللون المميز. ومع هذا، شدة اللون لاتعد مؤشراً لمحتوى الحديد في الترب. هذه المعقدات العضوية تجعل الحديد اكثر ذوبانية وجاهزية اعلى مما يشير اليه التوازن الثرموداينميكي. فضلاً عن المعقدات مع المواد الدبالية يكوّن الحديد معقدات مع السايدروفورس للاحياء المجهرية، ومن ضمنها السايدروفورسات المتحررة من فطر المايكورايزا الداخلية. كما لوحظ ان اجزاء دبالية ذائبة بالماء مستخلصة من تربة عضوية لها المقدرة على تكوين معقدات متحركة مع الحديد مؤدية الى زيادة جاهزيته للنبات.

الحديد الجاهز في التربة:

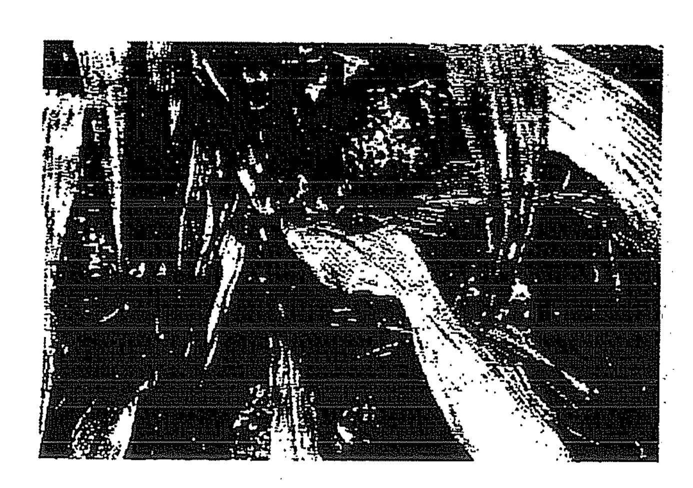
يطلق على صور الحديد الذائبة في محلول التربة والمتبادلة والقابلة للإمتصاص من قبل جذور النباتات بالصور الجاهزة وهذه تشمل الصيغ الايونية Fe^{2+} و Fe^{3+} والحديد المتبادل وبعض الصيغ المركبة وبعض الصور العضوية المعقدة. يتباين محتوى الحديد الجاهز في الترب المختلفة وفقاً لطريقة الاستخلاص، اذ ان الحديد الجاهز المستخلص بالـ$DTPA+CaCl_2$ في المدى 0.9 – 13.5 ملغم حديد كغم$^{-1}$ تربة. وفي الترب المصرية الكلسية كان الحديد المستخلص بالـ$DTPA+CaCl_2$ في 6000 عينة تربة بين 4.0 الى 42.0 ملغم حديد كغم$^{-1}$ تربة. وبين الجدوع ، (1990) ان تركيز الحديد المستخلص بالـ DTPA كان بحدود 8.3 ملغم حديد كغم$^{-1}$ تربة لعدد من ترب العراق في وادي الرافدين. النقص للحديد متوقع في بعض الترب بسبب ظروف الاكسدة العالية التي تحدث في بعض الترب ولبعض المحاصيل (العابدي،1989). محتوى الجاهز من الحديد في بعض ترب الشمال دون الحد الحرج ممايشير الى ان احتمالية الاستجابة للتسميد بهذا العنصر واردة (صديق واخرون 1989). المستخلص من الحديد بطريقة EDTA يبلغ معدل 110 ملغم كغم$^{-1}$ تربة في حين يبلغ معدل المستخلص بمستخلص الـDTPA 40 ملغم كغم$^{-1}$ تربة وكانت الطريقة الاخيرة اكثر ارتباطاً مع الجزء الممتص من قبل النبات والحدود الحرجة حسب هذه الطريقة 4.5 ملغم كغم$^{-1}$ تربة(عزيز،1989).

❖ تشخيص حالة الحديد في النباتات:

• نقص الحديد:

عندما تكون جاهزية الحديد واطئة يقل انتاج الكلوروفيل ومن ثم فقدان اللون الاخضر بسبب إجهاد الحديد. تحت نقص الحديد الاعتيادي يكون الاصفرار بين العروق وتبقى العروق خضراء، وفي الحالات الشديدة تتحول الورقة الى لون

ابيض مع بعض الثقوب وفي محاصيل الحبوب يكون النقص بشكل اشرطة خضراء وصفراء(الشكل 2.8). ولكون الحديد في الاوراق القديمة يتواجد في الكلوروبلاست فانه ليس من السهل انتقاله مادامت الاوراق لم تشيخ بعد، اذ ان الاوراق الحديثة تكون اكثر تاثراً من الاوراق القديمة.الاصناف القادرة على تحوير الرايزوسفير لجعل الحديد اكثر جاهزية يمكن ان تصنف على انها كفوءة بالحديد-Iron efficient plants وغالباً الاصفرار يترافق مع النباتات غير الكفوءة (العامري،2011).



الشكل (2.8) اعراض نقص الحديد في الذرة البضاء(لاحظ فقدان اللون بين العروق)

- **سمية الحديد:**

السمية للحديد ليست صفة او مشكلة شائعة في الحقل، عدا مع محصول الرز في اسيا تحت ظروف الغمر ودرجة تفاعل التربة المنخفضة وتوافر البقايا العضوية. ويمكن ان تحدث في تجارب الاصص وفي حالات إضافات مستويات عالية من الحديد الى نباتات الزينه مثل الازاليا. العلامات في الرز تسمى اكجار I 'AkagareI' او الاسمرار في اسيا، فضلاً عن بقع حمراء – بنية على الاوراق والتي تتوسع الى الاوراق القديمة.الورقة ككل يمكن ان تتحول الى لون بني والاوراق القديمة ممكن ان تموت بشكل دائمي.في اصناف اخرى الاوراق يمكن ان تكون اغمق في اللون والجذور تصبح بنية اللون. في الرز سمية الحديد يبدو انها تحدث في تراكيز اعلى من 300 – 500 ملغم حديد كغم$^{-1}$ كتلة جافة للاوراق.

- متطلبات الحديد لبعض المحاصيل:

يحدث النقص بشكل عام عندما يكون تركيز الحديد بالنبات بحدود 50 – 100 ملغم كغم$^{-1}$ اعتماداً على نوع النبات والصنف المزروع فمثلاً لمحصول الحنطة وجد في احدى الدراسات ان الحد الحرج في النبات كان بحدود 77 ملغم كغم$^{-1}$ لمحصول الحنطة. هذا المدى صعب التقدير نوعاً ما، لاسيما بالنسبة للنباتات الكفوءة للحديد والتي تمتلك ميكانيكية الاستفادة من المستويات الواطئة للحديد الجاهز في التربة. وعموماً البيانات المتوافرة تشير الى ان المحاصيل الحولية تتطلب 1 كغم حديد هـ$^{-1}$ سنة$^{-1}$ وللاشجار تكون المتطلبات عالية ايضاً. وتم تقدير متطلبات الحديد لاشجار الاجاص في شمال شرق اسبانيا بحدود 1 – 2 غم شجرة$^{-1}$ سنة$^{-1}$ (بغض النظر عن اشكال الفقدان التي تحدث في الجزء المحصود او الاوراق المتساقطة).

- امتصاص الحديد:

نقل الحديد الى الجذور يكون محدداً بالانتشار في محلول التربة، ولذا فإن الامتصاص يعتمد كثيراً على نشاط الجذور والنمو واطوال الجذور وكثافتها. عملية امتصاص الحديد بشكل عام وصفت على اساس ستراتيجيات مختلفة بين النباتات. نباتات الاستراتيجية 1 مثل ثنائية الفلقة والانواع غير العشبية تختزل الحديد الثلاثي في المخلبيات بوساطة Rhizodermis-bound Fe (III)-chelate reductase وتمتص ايونات الحديد الثنائي المتحررة الى السايتوبلازم لخلايا الجذور بوساطة ناقل الحديدوز. اما نباتات الاستراتيجية الثانية الحشائش تحرر سايدوفورسات نباتية phytosidrophores وهي عبارة عن احماض امينية تفرز من قبل جذور النباتات تخلب الحديد الثلاثي وتمتص معقدات السايدوفورسات – الحديد الثلاثي بناقل مخصص. اما الاستراتيجية الثالثة والتي عرفت حديثاً فانها يمكن ان تشمل السايدروفورسات المنتجة من قبل الأحياء المجهرية، ومن الممكن ان يكون هناك استعمال غير مباشر للسايدروفورسات

الاحيائية من خلال تبادل مخلبي مع السايدروفورسات النباتية في الاستراتيجية الثانية او من خلال الاختزال للحديد الثلاثي في الاستراتيجية الاولى. في نباتات الاستراتيجية 1 فان احد اسباب الاستجابة هو خفض درجة التفاعل الـpH للرايزوسفير تنتيجةَ للاختلاف في الامتصاص بين الايونات الموجبة والسالبة وتحرير المواد المختزلة المتحللة. عملية خفض درجة التفاعل الـpH تجعل الحديد اكثر جاهزية وتزيد من نشاط اختزال الحديد الثلاثي. هذا فضلاً عن نمو تشجيعي للشعيرات الجذرية وتطوير خلايا ناقلة.

- **العوامل المؤثرة في جاهزية الحديد:**

1) pH محلول التربة:

اذ ان الحديد جاهز في الوسط المائل الى الحامضي، إن pH اعلى من 7.0 وتواجد معادن الكاربونات والبيكاربونات تؤثر بشكل كبير في جاهزية الحديد المستخلص بالـ$DTPA+CaCl_2$ وان المدى الامثل للجاهزية هو عند pH 5.5 – 6.5، وعموماً زيادة الـpH وحدة واحدة يقلل من الجاهزية 100 – 1000 مرة.واكدت العديد من الابحاث وجود علاقة ارتباط عالية بين الاصفرار ودرجة تفاعل التربة.

2) معادن الكاربونات Carbonate minerals:

تتميز الترب الكلسية باحتواءها على نسب معادن كاربونات بين 5 – 35٪ ودرجة تفاعل بين 7.4 – 8.5 واحتواءها على معادن كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم بالدرجة الاساس.تؤثر هذه المعادن في جاهزية الحديد من خلال تقييده للحديد بعمليات الامتزاز والترسيب وتكوين معقدات تسهم في تقليل جاهزيته للنبات. ان المساحة السطحية لمعادن الكاربونات هي الاهم في التأثير من الكمية الكلية لمعادن الكاربونات او بتعبير آخر الكلس النشط (active lime) هو المسؤول عن عمليات الامتزاز.

3) الرطوبة والتهوية:

الحديد الجاهز للإمتصاص من قبل النبات هو الحديد الثنائي Fe(II) والذي يتواجد في الوسط المختزل ولذلك ان زيادة الرطوبة وظروف الاختزال تزيد من ذوبانية الحديد. ومع هذا زيادة الرطوبة في الترب الكلسية يمكن ان تزيد من تركيز البيكاربونات وبالتالي نقص ذوبانية الحديد. هذا فضلاً عن ان الامتصاص يتطلب نمو جذور جيد وتوفر طاقة للإمتصاص وهذه تتطلب تهوية. كما ان نشاط الاحياء المجهرية ودورها في معدنة المواد العضوية ودورات المغذيات. ولذا جاهزية الحديد تتأثر بالـpH وجهد الاكسدة والاختزال Pe.

4) تواجد المركبات العضوية:

تعمل المواد العضوية كمواد مخلبية طبيعية تزيد من جاهزية الحديد.هذا فضلاً عن دور المادة العضوية في تسهيل الامتصاص وخفض الـ pH وبالتالي زيادة الجاهزية من خلال دور مادة التربة العضوية والاسمدة العضوية المضافة في تحسن خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية والحيوية ومن ثم الخصوبية. اي ان المادة العضوية لها اكثر من دور في زيادة جاهزية الحديد اما من خلال تكوين المركبات العضوية المعدنية organo- metalic compounds او من خلال الاذابة لمركبات الحديد بفعل الاحماض المختلفة مثل الستريك والاوكزاليك والترتيرك. وهناك دراسات اثبتت ان التسميد بالاسمدة العضوية المتحللة ومن مصادر مختلفة ادى الى زيادة الحديد الجاهز والممتص من قبل النبات (الفضلي،2011).

5) الاسمدة النتروجينية الامونياكية وذات التأثير الحامضي تعمل على زيادة الجاهزية للحديد.

6) عامل النبات: مع ان الحديد بنوعيه الثنائي Fe(II) والثلاثي Fe(III) يمكن ان تنتشر نحو الجذور الى ان الحديد يختزل في الغالب الى الشكل الثنائي قبل الامتصاص. الاصناف والانواع النباتية تختلف في قابليتها على امتصاص الحديد .وهناك كما ذكر آنفاً نباتات كفوءة من خلال تحوير الجذور وافراز مواد تسهل الامتصاص واختزال الحديد الثلاثي الى ثنائي وفي الحشائش والنجيليات هناك امكانية افراز السايدروفورسات النباتية

PHYTOSIDROPHORES التي تعمل على تشجيع نقل الحديد وامتصاصه من قبل جذور النباتات (العامري،2011).

7) درجة الحرارة: لوحظ انخفاض في امتصاص الحديد وبعض المغذيات الصغرى عند انخفاض درجة الحرارة عن 15 درجة مئوية.

8) التداخل مع المغذيات الاخرى: الايونالت الموجبة لبعض المغذيات ممكن ان تتداخل مع الحديد وتسبب نقصاً فيه ومن ثم اجهاد بالحديد لاسيما للمحاصيل الحساسة ولاسيما المنغنيز.

ويمكن تلخيص اهم العوامل المؤثرة في الاصفرار نتيجة نقص الحديد كما في الجدول 4.8 الاتي:

جدول (4.8): العوامل المسببة للإصفرار المرافق لنقص الحديد التي تلاحظ غالباً والتسمية المرافقة

عامل المناخ: الاصفرار المتسبب عن مناخ ردئ: مطر غزير ومحتوى رطوبي عالي في التربةوحرارة منخفضة
عامل التربة: الاصفرار المرافق للكلس او البيكاربونات: محتوى عالي من الكلس وتركيز عالي للبيكاربونات وتركيز واطئ لثنائي اوكسيد الكاربون و تركيز اثلين عالي وتربة مرصوصة ومحتوى عالي من العناصر الثقيلة
عامل الادارة: الاصفرار المتسبب عن الساحبات او الفوسفات او المتسبب عن النحاس: رص التربة والتسميد العالي بالفسفور والاضافة العالية للمبيدات الفطرية الحاوية على النحاس والحصاد المتأخر
عامل النبات: نمو جذور ضعيف ونسبة عالية للاجزاء العليا نسبةَ للجذور وكفاءة واطئة للحديد
Source: From Kirkby, E.A., Römheld, V. Micronutrients in Plant Physiology: Functions, Uptake and Mobility. Proceedings No. 543, International Fertiliser Society, Cambridge, U.K., December 9, 2004, pp. 1–54.

- فحص التربة للحديد:

بسبب التأثير المباشر والرئيس لدرجة التفاعل الـpH ومحتوى البيكاربونات في جاهزية الحديد فإن فحص التربة لمعرفة جاهزية الحديد ليس عملية شائعة مقارنةً بفحص درجة التفاعل الـpH ومحتوى معادن الكاربونات. ومع هذا هناك عدداً من الطرائق لتقدير الحديد الجاهز ومنها الاستخلاص بخلات الامونيوم واستعمال المخلبيات مثل EDDHA او الاكثر شيوعاً DTPA. طريقة استعمال المخلبيات بدأ استعمالها عام 1967 وتستعمل لتقدير الزنك والحديد والمنغنيز والنحاس في التربة وتتضمن إضافة DTPA وتنظيم pH محلول الاستخلاص عند 7.3. خليط الاستخلاص يحوي كلوريد الكالسيوم لتحديد ذوبانية كاربونات الكالسيوم وزيادة كفاءة الطريقة. بعد الاستخلاص يتم التقدير بجهاز الامتصاص الذري "AAS" Atomic Absorption Spectrometry. وعموماً الحد الحرج يختلف من تربةٍ الى اخرى الا ان مدى بين 2 – 4 ملغم حديد كغم$^{-1}$ تربة للترب الكلسية. ومع هذا تم العثور على قيم اعلى للحدود الحرجة لبعض المحاصيل وصلت الى 6.2 ملغم كغم$^{-1}$ تربة مع محصول الحنطة.

- اسمدة الحديد:

في الحقل ولاسيما في الترب الكلسية الاضافة محددة بالمخلبيات لأن اضافة املاح الحديد الى التربة لاتجدي نفعاً وهنا الاضافة رشاً لأملاح حاوية على الحديد مثل كبريتات الحديدوز وبتركيز 1٪ وعلى عدة جرعات يكون علاج ناجع، ولكن اضافةَ الاسمدة المخلبية التي اشير اليها تكون اعلى كفاءةً في معالجة النقص. سماد اخر هو فوسفات الحديد $(Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O)$ استعمل في تسميد اشجار الزيتون ومزارع الكيوي. وباختصار لعلاج الاصفرار الشائع هو الاضافة للاسمدة المخلبية للحديد مثل Fe EDDHA على الاوراق وباكثر من رشة واحدة. وهناك اتجاه باستعمال السايدروفورسات او المخلبيات الطبيعية لانها اسهل تحللاً وبالتالي

اقل ضرراً من الناحية البيئية. واهم مصادر الحديد السمادية كبريتات الحديدوز Ferrous Sulfate ($FeSO_4.7H_2O$) والحديد المخلبي (NaFeEDDHA).

3.8 المنغنيز Manganese:

المنغنيز من المغذيات الصغرى التي ينشط انزيمات مهمة مشتركة بالكلوروفيل.

- **صور المنغنيز ومدى توافره في الترب:**

يعد المنغنيز العنصر المعدني العاشر في سطح الأرض من حيث الوفرة ومحتوى التربة بين200 – 3000 ملغم كغم$^{-1}$ تربة وفي الترب العراقية فإن المنغنيز الكلي في المدى 340 – 721 ملغم كغم$^{-1}$ تربة. هذا العنصر لا يكون لوحده أو بمعزل عن العناصر الأخرى بالطبيعة، ولكن يتواجد بشكل مجموعات لكي يعطي عدداً من المعادن المعرفة والشائعة. ومن هذه المعادن الخام الرئيسية البايروليوسايت (MnO_2)، ولكن الأكاسيد الأخرى مثل Mn_3O_4, Mn_2O_3 والكاربونات أيضاً معروفة ويحتاج المنغنيز المؤكسد الى الاختزال كي يصبح جاهزاً للنبات وكما في المعادلة الاتية:

$$MnO_2 + 4H + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$$

يتواجد المنغنيز بشكل أكثر انتشاراً في الترب المتطورة من الصخور الغنية بالحديد بسبب ارتباطه مع هذا العنصر. يتواجد في محلول التربة على صورة الأيونات الذائبة Mn^{2+} أو Mn^{3+}. المخلبيات العضوية المشتقة من النشاط المايكروبي (نشاط الأحياء المجهرية) وتحلل المواد العضوية (مادة التربة العضوية SOM) وبقايا النباتات وإفرازات الجذور كلها تستطيع تكوين معقدات من الأيونات الموجبة للعناصر المغذية الصغرى مما يؤدي إلى زيادة ذوبانية وحركة المنغنيز (جاهزيته). جاهزية المنغنيز للإمتصاص بوساطة جذور النباتات تتأثر بدرجة تفاعل التربة

وسطح غشاء الخلية. مع انخفاض pH للتربة، نسبة المنغنيز Mn^{2+} المتبادل تزداد بشكل كبير جداً، ونسبة أكاسيد المنغنيز والمنغنيز المرتبط مع الحديد تتناقص. هذا الفعل فسر على أساس زيادة البروتونات في محلول التربة. خفض الـ pH أو التحميض ممكن أن يثبط الأكسدة الناتجة بفعل الأحياء المجهرية المسؤولة عن تثبيت المنغنيز. الأحياء المؤكسدة للمنغنيز تعد النظام الحيوي الأكثر فعالية التي تقوم بأكسدة Mn^{2+} في الترب المتعادلة أو القاعدية الخفيفة (المائلة للقاعدية) 8–pH 6) إذ ان مع زيادة الـ pH فإن التثبيت الكيميائي للمنغنيز يزداد، وهناك ملاحظة مهمة ان المنغنيز في تربةٍ حامضية وصل الى تراكيز سامة الا انه بمجرد إضافة الكلس زاد الانتاج بسبب انخفاض التأثير السمي للمنغنيز. الاستجابة لهذا العنصر متوقعة في بعض الترب ولبعض المحاصيل. محتوى الجاهز من المنغنيز في بعض ترب الشمال دون الحد الحرج مما يشير الى ان احتمالية الاستجابة للتسميد بهذا العنصر واردة (صديق واخرون 1989). المنغنيز المستخلِص بالـDTPA كان بحدود 15 ملغم كغم $^{-1}$ تربة والحدود الحرجة حسب هذه الطريقة 5.0 ملغم كغم $^{-1}$ تربة(عزيز،1989).

العوامل المؤثرة في جاهزية المنغنيز:

- درجة تفاعل التربة (pH): جاهزية المنغنيز واطئة في الترب الكلسية وذات الـ pH القاعدي وعالي الجاهزية في الترب الحامضية.
- الماء الزائد ورداءة التهوية: التهوية الرديئة لاسيما في الترب الغدقة تزيد من ذوبانية المنغنيز لاسيما في الترب الحامضية وان قلة ظهور اعراض نقص المنغنيز في زراعة الرز هو نتيجةَ للغمر، الذي يسبب زيادة الذائب من المنغنيز والتأثير هنا للإختزال ولإنخفاض الـ pH او بتعبير آخر تأثير الـpH+pE.
- المادة العضوية في التربة: حسب نوع المعقد المتكون الذي اما ان يزيد او ينقص من الجاهزية وحسب ظروف التربة الفيزيائية لاسيما التهوية.
- المناخ: من خلال التأثير في المحتوى الرطوبي ودرجة الحرارة التي عند إنخفاضها يقل امتصاصه.

- عامل النبات: لغرض نمو جيد فان مدى تركيز منغنيز بحدود 2-8 ملغم. كغم$^{-1}$ تربة يكون كافياً.
- التداخل مع المغذيات الاخرى لاسيما الصغرى: ان المستويات العالية من النحاس والزنك والحديد يمكن ان تقلل من إمتصاص المنغنيز من قبل النبات.

- **وظائف المنغنيز في النبات:**

يمتص المنغنيز بشكل منغنيز ثنائي Mn^{2+} ولتغذية مناسبة فإن تركيز المنغنيز في محلول التربة يجب ان يكون بحدود 2 – 3 ملغم لتر$^{-1}$ والمتبادل بحدود 0.2 – 0.5 ملغم كغم$^{-1}$. تركيز المنغنيز بالنبات بحدود 20– 500 ملغم كغم$^{-1}$ وزن جاف وتراكيز بين 15 – 20 ملغم كغم$^{-1}$ تعد حرجة. ومع هذا تختلف التراكيز الحرجة حسب المحصول فهي بحدود 20 ملغم كغم$^{-1}$ للذرة الصفراء و70 ملغم كغم$^{-1}$ للطماطة.

يكون المنغنيز مهماً في تحرر الاوكسجين في عملية التمثيل الضوئي وفي عدد من انزيمات دورة كربس. فهو يعمل منشط للإنزيمات التي تشترك في عملية التنفس وتمثيل الأحماض الأمينية والكينين وتراكيز الهرمونات، ولكن في بعض الحالات من الممكن أن تستبدل بأيونات معدنية أخرى مثل المغنيسيوم Mg. يشترك المنغنيز في تفاعلات الأكسدة والاختزال (redox) ضمن نظام نقل الإلكترونات في عملية البناء الضوئي في النباتات، كذلك يشترك المنغنيز في تفاعل Hill (تحرر الأوكسجين ضوئياً في الكلوروبلاست). وبسبب دوره المهم في هكذا عملية أساسية فإن عملية التثبيط للبناء الضوئي تحدث حتى مع نقص معتدل للمنغنيز، ولكن مع هذا التأثير على تركيب الكلوروبلاست أو تهدم الكلوروبلاست لا يحدث إلا عند النقص الشديد للمنغنيز.

- **ميكانيكيات الامتصاص:**

كما ذكر آنفاً، يفضل امتصاص المنغنيز بواسطة جذور النباتات الموجود بشكل Mn^{2+} في محلول التربة. المنغنيز يكون معقدات بسهولة مع المعقدات العضوية النباتية والمايكروبية ومع المخلبيات التركيبية. مع هذا، المعقدات التركيبية عموماً اعتبرت بأنها تمتص بواسطة الجذور بشكل أبطأ من الأيونات الموجبة الحرة.

التوزيع والحركة للمنغنيز في النباتات:

المنغنيز يعد عنصر غير متحرك(قليل الحركة) في النبات،اي لايعاد نقله، ولذلك لا تظهر علامات النقص على الأوراق القديمة. هذا فضلاً عن أن علامات النقص تظهر وبشكل منتظم على الأوراق الحديثة كاملة الاتساع بدلاً من الأوراق الأحدث (المتكونة حديثاً فقط). هذه العلامات يمكن أن تشير إلى متطلبات داخلية لهذه الأوراق تتعدى أو تتجاوز الأوراق الحديثة، أو ببساطة هو عبارة عن موضوع تجهيز ومتطلبات في نسيج نباتي نامي بسرعة.

موقع المنغنيز في النبات عامل مهم في التعبير عن علامات النقص، ويتأثر بحركته في الخشب واللحاء. المنغنيز يتحرك بسهولة من الجذور إلى الأجزاء العليا في عصارة الخشب ضمن مجرى النتح، بالمقابل، إعادة التوزيع والنقل ضمن اللحاء يكون معقد، فمنغنيز الأوراق يكون غير متحرك، لكن منغنيز الجذور والسيقان قابل لإعادة الحركة. التأثير الصافي للتغاير في الحركة خلال اللحاء يعكس أو يؤدي إلى إعادة توزيع المنغنيز في أجزاء النبات بشكل مثالي يشبه إلى حد ما الحركة البطيئة في اللحاء.

- **نقص المنغنيز:**

نقص المنغنيز أكثر انتشاراً ووضوحاً في الترب الكلسية التي يكون فيها الـ pH في التربة من 7.3 إلى 8.5 وكميات كاربونات الكالسيوم أو معادن الكاربونات

$CaCo_3$ هي الأخرى لها تأثير في الجاهزية. الترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية وذات الكثافة الظاهرية الواطئة وذات التراكيز الواطئة من المنغنيز القابل للاختزال بسهولة أيضاً عرضه لإظهار نقص المنغنيز. مناخياً الظروف الباردة والمعتدلة ترتبط بشكل عام مع نقص المنغنيز، مع أن هناك تقارير حول ملاحظات مماثلة في المناطق الجافة والاستوائية. الفصول الأكثر جفافاً يبدو أنها تعالج أو تزيدمن نقص المنغنيز.

- **النباتات الدالة:**

النباتات الحساسة لنقص المنغنيز هي التفاح والكرز والحمضيات والشوفان والبزاليا والفاصوليا وفول الصويا والأعناب الصغيرة (التوت – العليق) والبنجر السكري. من محاصيل الحبوب الشوفان يعد عموماً النبات الأكثر حساسية لنقص المنغنيز، على الرغم من ذلك، هنالك اختلاف وعدم اتفاق في تصنيف أو إعطاء الأولوية أو مدى حساسية الحنطة والشعير لنقص المنغنيز. هذا الشيء ممكن أن يعزى إلى التغاير الوراثي أو الجيني بين الأنواع المختلفة للنبات التي تمت الإشارة إليها للحنطة والشوفان والشعير والبزاليا والترمس.

- **علامات النقص:**

تتضمن علامات النقص اصفرار ما بين العروق في الأوراق الحديثة كاملة الاتساع، بالمقارنة إلى الشبكة الخضراء للعروق الملاحظة مع نقص الحديد. نقاط مثقبة وتحرقات أيضاً ممكن أن تتكون. العلامات تظهر غالباً في الأوراق المتوسطة مقارنة مع نقص المغنيسيوم الذي يظهر على الأوراق القديمة. مع اليوكالبتوس eucalyptus (Eucalyptus spp.L.) قمم الأوراق الحديثة وكاملة الاتساع تصبح خضراء شاحبة. الاصفرار يتسع بين العروق الفرعية نحو العروق الوسطية. مع محاصيل الحبوب، الاصفرار يتطور أولاً في قاعدة الورقة بينما في ثنائية الفلقة الأجزاء البعيدة للنصل تتأثر أولاً. مع الحمضيات تتكون حزم خضراء غامقة على

طول العرق الوسطي والعروق الرئيسية مع مناطق فاتحة بين الحزم. في الحالات المعتدلة تظهر العلامات على الأوراق الحديثة وتختفي عند النضج. الأوراق الحديثة غالباً تظهر شبكة من العروق الخضراء ذات خلفية فاتحة أو على خلفية فاتحة اللون مما يشبه نقص الحديد.

بالمقارنة مع علامات نقص الحديد (الاصفرار) فإن النقص أو الاصفرار الناجم عن نقص المنغنيز لا يتوزع بانتظام على نصل الورقة كله والنسيج يمكن أن يصبح مثقب بسرعة. عدم القابلية على إعادة التوزيع في الأوراق القديمة والأوراق الأحدث يمكن أن يكون وسيلة جيدة لاختيار العينات للتحليل الكيميائي من خلال المقارنة بين الأوراق القديمة والحديثة التكوين. العلامات المرئية لنقص المنغنيز يمكن أن تفهم خطأ او يتم الخلط بينها وبين نقص الحديد والمغنيسيوم والكبريت، وتختلف بين المحاصيل أيضاً. مع هذا، تعد العلامات أساس ثمين لتقدير أو تحديد عدم الاتزان الغذائي. وعند الجمع بين علامات النقص والتحليل الكيميائي يمكن أن يؤدي إلى تشخيص ناجح وجيد.

- **السمية:**

سمية المنغنيز مشكلة رئيسية على مستوى واسع من مساحات العالم وتحدث في التربة الحامضية رديئة التهوية (رديئة البزل) بسبب التداخل الذي أشير إليه آنفاً(pH وPe). على الرغم من ذلك ليست كل الترب رديئة البزل هي مصادر لسمية المنغنيز، اذ أن الغمر والتفييض يمكن ان يزيد من pH التربة الحامضية ومن ثم يقلل جزئياً من المنغنيز. الترب الاستوائية وتحت الاستوائية وترب المناطق المعتدلة كلها ذكرت بأنها مصادر لتراكيز المنغنيز كافية لإظهار علامات سمية ظاهرة على النبات. على الرغم من ذلك، عدم نفاذية التربة لم تكن أساسية لسمية المنغنيز.

العوامل المؤثرة في جاهزية المنغنيز:

- درجة تفاعل التربة pH: الترب الكلسية توصف بمحتوى عالٍ من المنغنيز الا ان الجاهز منه واطئ بسبب كون هذه الترب قاعدية التفاعل. وفي دراسة في تربة مزيجة طينية غرينية كلسية في كلية الزراعة – ابوغريب استجاب العنب (صنف ديس العنز) الى التسميد بالمنغنيز بشكل خاص في تجربة شملت رش اشجار العنب بمحاليل مغذيات صغرى مختلفة (الدجيلي وآخرون، 1994). واستجاب النبات الطبي ست الحسن للتسميد بالمنغنيز ايضاً في تربة كلسية في كلية الزراعة – ابوغريب (محمد،2010).
- المادة العضوية والتسميد العضوي:يلاحظ احياناً نقص في المنغنيز في الترب العضوية لتكوين معقدات غير ذائبة بين المركبات العضوية والمنغنيز. اما التسميد بالدمن او البيتموسات او الكمبوسات من الممكن ان تزيد من جاهزية المنغنيز حسب طبيعة التفاعل بين هذه المركبات والمنغنيز وحسب نوع المادة العضوية المضافة.
- النسجة: الترب الرملية تكون ذات محتوى كلي وجاهز واطي بالقياس الى الترب الاخرى.
- الرطوبة: يؤثر محتوى التربة الرطوبي بشكل كبير في جاهزية المنغنيز من خلال التأثير في حالات الاكسدة والاختزال وتحولات المنغنيز من صورة لأخرى، والصورة الجاهزة للمنغنيز وكما اشير الى ذلك آنفاً هي الصورة الثنائية والتي تتوافر في المحيط المختزل. ويعتمد الامتصاص للمنغنيز الذائب على طبيعة النبات ونموه فنباتات الرز تحصل على احتياجاتها من المنغنيز تحت ظروف الابتلال والتغدق.
- نوع المحصول: تختلف المحاصيل في حساسيتها لنقص المنغنيز فهناك محاصيل حساسة مثل الشوفان والبنجر السكري والحمضيات.

اسمدة المنغنيز:

اهم مصادر المنغنيز السمادية هي كبريتات المنغنيز Manganese sulfate وكلوريد المنغنيز Manganese Chloride .

4.8 الزنك(الخارصين) Zinc:

عنصر مغذي اساسي يمتلك اهمية خاصة واستثنائية في صحة النبات والبشر.نقص الزنك يؤثر في حوالي 2 بليون انسان في الدول النامية ويرتبط مع عدة امراض ولاسيما الاطفال مؤدياً الى اعاقة بالنمو. وفي النبات يشترك في تكوين الكلوروفيل وينشط عدد من الانزيمات.

إمتصاص الزنك ووظائفه للنباتات:

يمتص الزنك عموماً بشكل زنك ثنائي Zn^{2+} ولكن عند درجة تفاعل الـpH عالي يمكن ان يمتص بشكل $ZnOH^{+}$. الزنك يمكن ان يتحرك بشكل ايون حر او بعد ارتباطه بالاحماض العضوية عند النقل للمسافات الطويلة في اوعية الخشب. للزنك وظائف مختلفة اذ انه مهم في تمثيل وبناء التربتوفين tryptophan المكون لبعض البروتينات ويكون مطلوب لإنتاج هرمونات النمو (الاوكسينات) مثل اندول حامض الخليك (indole acetic acid)(IAA) والنقص في هذا الهرمون يؤدي الى قصر السلاميات وتكون اصغر من الحجم الطبيعي.

للزنك دورا كبيرا في العمليات الفسلجية والبايوكيميائية، اذ يشترك هذا المغذي في التفاعلات الايضية لكل من الكربوهيدرات والبروتينات والاوكسينات، كما يدخل في تركيب هياكل الاغشية الخلوية ويشترك في عدد من وظائفها ويساهم في حماية الخلية من التاثير الضار لبعض انواع الاوكسجين الفعال Reactive Oxygen Species والمسمى اختصاراً (ROS). واشار Castrup

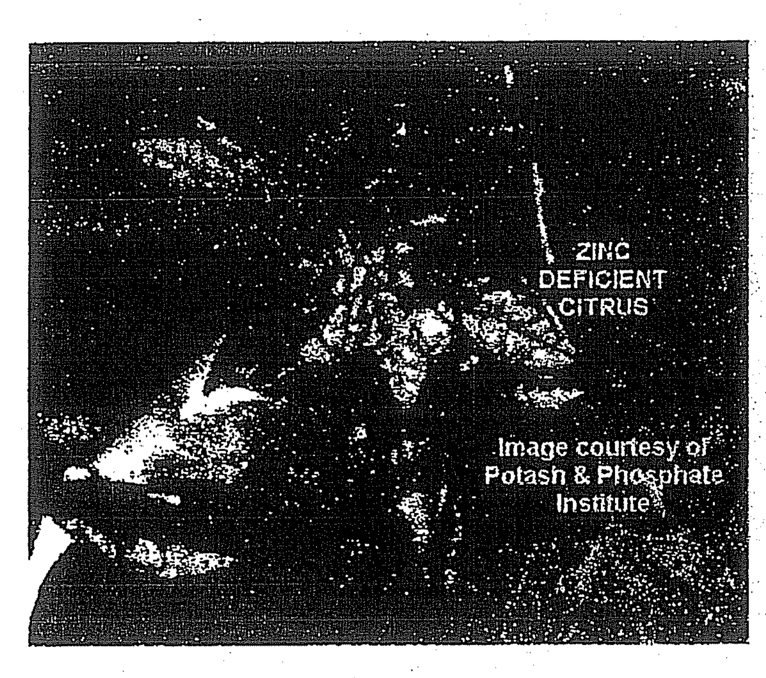
واخـرون (1996) الى ان عنصر الزنـك يشترك في تنشيط اكثر من 300 انزيم لاسيما تلك التي تتعلق بانتاج الاحماض النووية في الخلية وايض البروتين. واشار Welch واخـرون (1982) الى ان للزنـك دورا اساسيا في تكوين وصيانة الاغشية الخلوية في النباتات الراقية، اذ لاحظوا ان هناك ارتباطا موجبا كبيرا بين وجود الزنك في جذور نبات الحنطة ووجود الفسفور، واستنتجوا بان الزنك زاد من قابلية الجذور على الامتصاص، ذلك لانه اثر في تحسين تركيب الاغشية الخلوية وهيكلتها ووظيفتها مما انعكس على تحسين اداء الجذور، لذا اوصى الباحثون بضرورة ان يكون الزنك متوافرا في الترب خلال مدة نمو النبات. واشار Sharma واخرون (1990) ان للزنك تاثيرا كبيرا في زيادة حيوية حبوب اللقاح ففي الذرة الصفراء يتاخر التزهير 13 يوما عن موعده في حالة نقص الزنك وتكون حبوب اللقاح الناتجة صغيرة الحجم وقليلة ومعظمها يكون محتواها السايتوبلازمي قليلا ومنكمشا وضعيفا في تجارب الانبات المختبري واغلبها يفشل في عقد البذور على عرانيص طبيعية. ووجد العيساوي (2010) ان الرش بمستوى 60 ملغم زنك لتر$^{-1}$ حقق افضل حاصل حبوب في نبات الباقلاء. ووجد الفضلي(2011) استجابة عالية في انتاج البطاطا عند رشها بمحلول يحوي زنك بتركيز 50 ملغم.لتر$^{-1}$. اما الصميدعي (2011) فتوصل الى ان الرش بمستوى 2 كغم زنك هـ$^{-1}$ رشاً على الجزء الخضري(مقسمة الى عدد من الرشات) لنبات زهرة الشمس اوالتسميد الارضي بمقدار 10 كغم زنك هـ$^{-1}$ حققت افضل النتائج في حاصل الحبوب.

نقص الزنك:

نقص الزنك موضوع شائع في الترب المعرضة للتجوية والترب الكلسية وان جذور الاشجار المعرضة للنقص تفرز مادة صمغية. المواقع التي تعاني نقص الزنك هي الاصطبلات وحقول الحيوانات القديمة والتي اضيفت اليها كميات عالية من الدمن الحيواني على طول السنين واصبح الزنك مرتبطاً مع المواد العضوية الى درجة اصبح فيه غير جاهزاً للامتصاص من قبل النباتات وتعاني المحاصيل المزروعة في هذه الترب من نقص الزنك. النقص يظهر بداية بشكل اصفرار او تبقع بين

العروق واللون غالباً اخضر فاتح الى اصفر شاحب ولاسيما بين العرق الوسطي والعروق الثانوية، والاوراق المتسعة تكون صفراء والسلاميات قصيرة. نقص الزنك غالباً يؤدي الى تجمع الاوراق الصغيرة في قمة النبات (Rosetting or clustering) وهذا النقص يحدث بشكل اساسي في اشجار الفواكه والحمضيات(شكل 3.8) والذرة الصفراء والقطن والبطاطا والتي هي حساسة لنقص الزنك. زراعة الغابات في استراليا ايضاً تعاني من هذا النقص والحمضيات عموماً تظهر اوراق مبقعة.

إن الوقت المثالي للكشف عن النقص وفحصه بالنسبة للاشجار دائمة الخضرة هو الشتاء عندما تكون التربة باردة نسبياً. ومع هذا، اضافة الزنك الى الاشجار لاتكون ضرورية اذا اختفت علامات النقص عند اعتدال درجات الحرارة. الذرة البيضاء "السوركام" التي تعاني من نقص الزنك تظهر حزم بيضاء على طول العرق الوسطي وبقع حمراء على الورقة. تركيز الزنك في النباتات بين 25 – 150ملغم كغم$^{-1}$ ونقص الزنك غالباً يحدث عند قيم اقل من 10 – 20 ملغم كغم$^{-1}$.



شكل (3.8) نقص الزنك على الحمضيات

مقاومة وتحمل زيادة الزنك:

الزنك من العناصر الثقيلة التي تكون تجمعاته عالية بالمخلفات الصناعية. استبعاد الزنك والتخلص من تأثيره يمكن ان يحصل في اشجار الصنوبر Pinus sylvestris L Scots pine التي تتعايش عليها انواع من فطريات المايكورايزا الخارجية التي تحتفظ بالزنك في خيوطها المايسيلمية وتزيد من تحمل الاشجار للزنك. كما ان التحمل يمكن ان يتم من خلال استبعاد الزنك الى الفجوات وابقاء مستوى الزنك واطئ في السايتوبلازم. لوحظ ان هناك زيادة في التحمل لنوع من الحشائش Deschampsia عند التسميد او التغذية بالامونيوم مقارنةَ بالنترات مصدراً للنتروجين. وهذا تم تفسيره على اساس تراكم الاسبارجين بكمية اعلى في النباتات المغذاة بالامونيوم مؤديةَ الى تكوين معقدات مستقرة بين الاسبارجين والزنك وبالتالي زيادة التحمل.

الزنك في الترب:

هناك خمسة خزانات رئيسة للزنك في التربة وهي:

أ. زنك محلول التربة.

ب. الزنك المتبادل والممتز سطحياً.

ج. الزنك المرتبط مع المادة العضوية للتربة.

د. الزنك المرتبط مع الاكاسيد والكاربونات.

ه. الزنك في المعادن الاولية والمعادن الثانوية الالمنيوسلكيت.

عموماً مستويات الزنك الجاهز للنبات واطئة في الترب العراقية والنقص يبدو اكثر شيوعاً من العناصر الاخرى (العابدي، 1989) ويختلف التركيز حسب طريقة الاستخلاص الا انه وبشكل عام هناك اجماع على ان معظم المحاصيل المزروعة في ترب العراق تعاني نقصاً بالزنك وتظهر استجابة لإضافته (Ali

واخـرون،2001). واشـار Salih واخـرون،1987 ان الزنـك الجـاهز المسـتخلص بالـDTPA كان بحدود 0.4- 3.0 ملغم زنك كغم$^{-1}$ تربة في ترب وسط وجنوب العراق وارتبط معنوياً مع المادة العضوية. الحد الحرج بحدود 0.5 ملغم Znكغم$^{-1}$ تربة ولذا فإن توقعات الاستجابة لإضافة الزنك تكون واردة(عزيز،1989). القيم الحرجة للزنك تختلف حسب التربة وطريقة الاستخلاص والمحصول الا انه وبشكل عام بحدود 0.6 ملغم زنك كغم$^{-1}$ تربة او بين 1.0 – 2.0 ملغم زنك كغم$^{-1}$ تربة في جنوب العراق (العبد الله، 1988). محتوى الجاهز من الزنك في بعض ترب الشمال دون الحد الحرج مما يشير الى ان احتمالية الاستجابة للتسميد بهذا العنصر واردة (صديق واخرون 1989). وفي دراسة لتحديد مستوى الزنك الكلي وتوزيعه العمودي ومحتوى الزنك في اجزاء التربة المختلفة والزنك الجاهز في خمسة مواقع مختلفة في نمط الزراعة في محافظة اربيل والاستجابه لمحصول الذرة الصفراء لإضافات الزنك وتوصلت الدراسة الى ان محتوى الزنك الجاهز المستخلص بـ0.02 عياري EDTA و0.005 عياري DTPA كان ضمن المدى 0.75 – 2.99 و0.34 – 1.06 ملغم كغم$^{-1}$ تربة لطريقتي الاستخلاص بالتتابع وكانت هذه الترب فقيرة الى متوسطة المحتوى من الزنك الجاهز واستجاب محصول الذرة الصفراء للزنك المضاف لحد 8 ملغم كغم$^{-1}$ تربة(راهي وجوزلي 1989). كمية الزنك الجاهز (المستخلص بالـDTPA)كانت في المدى 0.53 – 0.67 ملغم كغم$^{-1}$ تربة لمناطق في السهل الرسوبي (الجدوع،1990).

اشار Sillanpaa (1982) في دراساته لتواجد الزنك في العالم الى ان تربة العراق تعد الاوطأ من حيث احتوائها على عنصر الزنك من ترب 30 دولة شملتها الدراسة ، واوضح ان محصول الحنطة المنتج في عموم مناطق العراق يعاني نقصا واضحا لعنصر الزنك، وهذا يعد مشكلة كبيرة في الانتاج الزراعي في العراق تتطلب اهتماما كبيرا. واضاف الباحث نفسه في دراسة اخرى عام (1990) ان عينات الترب الماخوذة من مناطق متفرقة من العراق، اظهرت نتائج تحليلها ان جميعها يعاني نقصا في الزنك بدرجة لايكاد يوجد فرق يذكر بينها، وربما يكون

الري المستمر والاستغلال المستمر للتربة والذي يعود تاريخه الى 6000 سنة مضت في وادي الرافدين احد اهم الاسباب التي ادت الى غسل واستنزاف هذا العنصر من التربة، واضاف ان اهم المشاكل التي تعانيها الترب العراقية هي ارتفاع محتواها من الاملاح تليها زيادة محتوى التربة من الكلس (15 – 35 ٪ $CaCO_3$) والتي تؤدي الى تثبيت الفسفور وبالتالي عدم جاهزيته للنبات وكذلك تؤدي الى عدم جاهزية الزنك في حالة وجوده.

فعاليات الزنك في محلول التربة مسيطر عليها بشكل رئيس من معدن الـ Franklinite ($ZnFe_2O_4$) والتي ذوبانيته المتوازنه تشبه الى حد ما الزنك الممسوك بالتربة عند درجة التفاعل الـpH بين 6 – 9.

المعدن يترسب عندما يتجاوز تركيز الزنك في محلول التربة الذوبانية المتوازنه للمعدن ويذوب عندما يحدث العكس. ان هذه العملية تجهز مايسمى بالقابلية على تنظيم الزنك او بفرية الزنك.

يرتبط الزنك مع المادة العضوية للتربة والتي تتضمن المركبات العضوية الذائبه بالماء والمركبات العضوية. الزنك هنا يرتبط من خلال اندماجه الى جزيئات عضوية والتبادل والخلب او من خلال الامتزاز النوعي وغير النوعي. الزنك يرتبط مع الاكاسيد المائية والكاربونات من خلال الامتزاز وتكوين المعقدات السطحية والتبادل الايوني والاندماج الى بلورات والترسيب. بعض هذه التفاعلات تثبت الزنك بشكل تسيطر على كمية الزنك في محلول التربة. الزنك يعمل معقد مع معادن الكاربونات في الترب القاعدية (pH = 8.2). وعموماً فإن ابحاث الزنك للقرن العشرين اكتشفت ان نقص الزنك يظهر على النباتات بشكل تورد وحجم نبات صغير وتطور اوراق ضعيف وبالتالي الموت من الافرع الطرفية.

العوامل المؤثرة في جاهزية الزنك:

- درجة تفاعل التربة pH: جاهزية الزنك تتأثر بشكل كبير بدرجة التفاعل للتربة وتكون اكثر جاهزية في الترب الحامضية. ولذا يلاحظ نقص الزنك على النباتات عندما يرتفع pH محلول التربة عن 6.0 ولذا تعاني الترب الكلسية من نقص في الزنك. وهنا الاسمدة ذات التأثير الحامضي مثل اسمدة النتروجين الامونياكية واسمدة الكبريت يمكن ان تزيد من جاهزية الزنك.
- المادة العضوية والتسميد العضوي: تحلل المواد العضوية يزيد من توافر المركبات العضوية المخلبية التي تسهم في زيادة جاهزية الزنك للنبات.
- النسجة: الترب الرملية او خشنة النسجة بشكل عام تكون ذات محتوى كلي وجاهز واطي بالقياس الى الترب الاخرى.
- التداخل مع المغذيات الاخرى: العلاقة بين بين الزنك والفسفور توصف بأنها علاقة تداخل interaction ففي حالات معينة هناك علاقة تضاد وفي حالات اخرى هناك علاقة تشجيع حسب المحصول وكمية السماد الفوسفاتي المضاف. وهناك ايضاً تأثير لإضافة اسمدة الزنك في امتصاص مغذيات اخرى مثل النحاس والحديد (الصميدعي، 2011).
- نوع المحصول: تختلف المحاصيل في حساسيتها لنقص الزنك.

والجدول 5.8 بعض البيانات المفيدة في تحديد حالة الزنك في النباتات.

جدول (5.8) قيم تحليل النسيج تفيد في تحديد حالة الزنك(*)

النبات	نوع وسط النمو	النسيج	العمر او وقت اخذ العينة	تركيز الزنك في المادة الجافة (ملغم كغم$^{-1}$)				
				علامة نقص	مدى واطئ	مدى متوسط	مدى عالي	علامات سمية
الشعير	تربة	النبات فوق سطح التربة	عند مرحلة التزهير	15>		70–15	70<	
الجت	حقل	الاجزاء العليا	بعمر 12 اسبوع	13		48–39		
التفاح	الحقل	الاوراق		20>		50–30		
البرسيم	محلول	الاجزاء العليا	بعمر 12 اسبوع	25–24		90–76		
الباقلاء	حقل	بذور	الحصاد			37		
اللهانة	حقل	الراس	الحصاد			34		
الفلفل	وسط عضوي	فوق الارض	الحصاد			490–184		
الذرة الصفراء	حقل	اوراق	تكوين الحبوب	9.0		36.6–31		
الذرة الصفراء	حقل	ورقة العلم	الحريرة	10>		70–20	100 –71	100<
القطن	تربة	ورقة ناضجة حديثاً	43 يوم		14–13	48–17		200
العنب	البستان	عنق الورقة	عنق الورقة	15>	26–15	اعلى من 26		
الخس	بيت+فيرميكيو لايت	ورقة	28 يوم عمر	12>		22–15	30–23	30 <
الزيتون	بستان	ورقة كاملة الاتساع		15>		70–15	70<	
زهرة الشمس	تربة	الورقة الرابعة تحت برعم الزهرة	وقت التزهير	20	30	190	240	240<
الطماطة	حقل	كل النبات فوق السطح	ثمرة ناضجة	17		60–24		
الحنطة	حقل	الاوراق	وسط النمو			200–20		

مصادر الزنك السمادية:

تتوافر العديد من مصادر الزنك السمادية الا ان الذي اثبتت نجاحها لاسيما في الترب الكلسية للإضافة الى التربة هي الاشكال العضوية مثل الزنك المخلبي Zn-DTPA ويتفوق كبير على الزنك Zn-EDTA، وذلك لعدم استقرار الاخير في الترب الكلسية ومنافسة الكالسيوم للزنك (العامري، 2001) وهناك بعض مركبات الزنك المنتجة من تحميل الزنك على بعض الاحماض الدبالية (التميمي،1997 والعبيدي، 2010).

(*) المصدر: الن في باركر وديفيد جي بيلبيم 2012.المرشد في تغذية النبات.ترجمة نور الدين شوقي علي.دار الكتب العلمية–بغداد

وتعد طريقة الاضافة الورقية للزنك من الوسائل الناجحة في التسميد وتعد المركبات العضوية من المصادر الجيدة ايضاً. احياناً الرش على الاوراق صعب بسبب الحواجز الكيوتكلية مع تقدم عمر الاوراق ولذا فإن الاضافات المتكررة للزنك تكون افضل من الاضافات الظرفية والاضافة رشاً لكبريتات الزنك اثبتت عدم كفاءتها بالمقارنة مع نترات الزنك. وهناك بعض الشركات المصنعة التي انتجت الصيغة الجديدة NZN الحاوية على نترات الزنك ونترات الامونيوم اليوريا UAN والتي يمكن ان تكون افضل من كبريتات الزنك في الامتصاص.

كميات الاضافة تختلف حسب المصدر وطريقة الاضافة فالكمية تكون قليلة مع المصادر المخلبية واعلى في المعدنية والاضافة رشاً اقل من الاضافة الارضية.كميات الزنك التي تضاف تختلف حسب طريقة الاضافة ومصدر الزنك (العامري،2001 والصميدعي،2011).

5.8 البورون BORON:

- وظائف البورون في النباتات:

بين(1997) Goldbach بان البورون يعد من اكثر المغذيات التي يفتقر اليها النبات في العالم ، وقد قام بتقسيم النباتات على ثلاثة مجاميع من خلال محتوى المادة الجافة للنبات من البورون وتراكيزه الموجودة في اوراق النبات، المجموعة الاولى كانت تضم نباتات العائلة النجيلية والتي اوضح ان متطلباتها للبورون قليلة جدا ولاتكاد تظهر أعراض نقصه عليها اثناء مراحل النمو، وتكون النسبة المثالية لتواجده في اوراقها مابين 2 – 5 ملغم. كغم$^{-1}$ في المادة الجافة، المجموعة الثانية والتي تضم نباتات غير نجيلية (dicots and non-grass monocotyledons) والتي يكون تواجد البورون المثالي في اوراقها مابين 20 – 80 ملغم.كغم$^{-1}$ في المادة الجافة.

اما المجموعة الثالثة فانها تضم عدد من النباتات المطاطية (several latex) يكون محتوى المادة الجافة لاوراقها اكثر من 80 ملغم.كغم$^{-1}$، هذه المجموعة متطلباتها عالية لعنصر البورون، واوضح الباحث نفسه ان احتياجات النبات للبورون لاتختلف بين الانواع النباتية فحسب وانما يختلف بين اصناف النوع الواحد ايضا، وقد تختلف حتى في اجزاء النبات الواحد، كما انه لا توجد طريقة قياسية واحدة لقياس متطلبات النبات للبورون بشكل دقيق، اذ تعتمد اغلب النتائج على ظروف اجراء التجربة وعلى نظام التغذية المتبع. كما قد تؤثر عوامل اخرى على نتائج القياس كطول النهار والليل، والجزء النباتي الماخوذ للتحليل وعمر هذا الجزء وطريقة التحليل الكيميائي، كل هذه العوامل تؤثر على نتائج التحليل (Gupta، 1993).

يعتقد بأن البورون يشترك في نقل الكاربوهيدرات في النباتات ويساعد في التنظيم البنائي. نقص البورون يمكن أن يؤدي إلى انخفاض في إنتاج المحصول وفي نوعيته. ومن بين الأمراض ذات العلاقة بنقص البورون أو ما يسمى بعدم الانتظام المتسبب بنقص البورون هي القلب البني أو ما يسمى باللب المائي في الروتاباكه من العائلة الصليبية وتشقق ساق السلق وتعفنْ قلب الشوندر والقلب البني في القرنابيط. إن أمراض نقص البورون تعد أمراض فسلجية بطبيعتها وتظهر أحياناً حتى مع تجهيز جيد من البورون وذلك لارتباط الموضوع بالحالة الخاصة للبورون في النباتات في الانتقال والتوزيع، ولوحظ أن الخطوة الأولى التي تسيطر على امتصاص البورون في النباتات تقع في الجذور. نقص البورون يثبط بسرعة استطالة ونمو الجذور، إذ ان استطالة جذور الشجر (الكوسة Cucurbita pepo) في مرحلة البادرات انخفضت حتى ثلاث ساعات بعد إزالة تجهيز البورون وتوقفه خلال 24 ساعة وإذا تمت إعادة تجهيز البورون بعد 12 ساعة فان سرعة استطالة الجذور أعيدت إلى حالتها الطبيعية خلال 12 إلى 18 ساعة. استطالة الجذور هي نتيجة لاستطالة وانقسام الخلايا وهناك إثباتات أشارت إلى أن البورون مطلوب في كلا

العمليتين. نقص البورون في التبغ (Nicotiam tabucum L) أدى إلى نقصان في تركيز N في الأوراق وتقليل نشاط أنزيم نايتريت ردكتيز.

دور البورون في إنتاج البذور مهم جداً وعند انتاجها تحت نقص معتدل أوشديد للبورون، فان النباتات فشلت في إنتاج أزهار نشطة أو فعالة أو وظيفية ومن المحتمل أن لا تنتج بذور. النباتات المعرضة لنقص البورون لوحظ أنها أدت إلى عقم أو إنبات واطئ لبذور الجت والشعير والذرة الصفراء. حتى تحت النقص المعتدل للبورون فان النبات من المحتمل أن ينمو بشكل عادي والجزء الخضري لا يتأثر ولكن إنتاج البذور يتأثر بشكل خطير.تظهر اعراض نقص البورون سريعا على النباتات ويكون تاثير هذا النقص مختلفا فتظهر تاثيرات مظهرية وتاثيرات فسلجية واخرى كيموحيوية، وهذه التاثيرات اظهرت اختلافا بين الانواع النباتية اثناء نمو الانسجة (Hu وBrown، 1994). يؤدي نقص البورون الى انخفاض فعالية بعض الانزيمات بشكل واضح مثل انزيم (Phosphatase)، انزيم (Catalase)، انزيم (Invertase) وانزيم (Starch phosphorylase)، ولكن تزداد فعالية كل من انزيم (Amylase) وانزيم (Ribonuclease).

وفي دراسة قام بها Mozafar (1987) على نبات الذرة الصفراء بين بان هذا النبات يحتاج الى البورون بشكل متواصل اثناء نموه، لاسيما خلال مرحلة التزهير لتحقيق افضل المستويات من انتاج البذور، فعندما عُرض هذا النبات لنقص البورون قبل اسبوع من مرحلة ظهور الازهار الذكريه ولحد نضج البذور التام، فقد لوحظ تباطؤ في نمو وانتاج حبوب اللقاح وكذلك ظهور انخفاض في معدلات نمو الازهار الانثوية.

بين Srivastava وGupta (1996) بان البورون ينظم تجهيز وانتاج الاوكسين (Auxin) في النبات من خلال اسهامه في حماية Indol acetic acid (IAA) من الاكسدة بتثبيط عمليات اكسدته مما يزيد من تركيز (IAA) في النبات وبالتالي اداء وظائفه بشكل طبيعي.

وجد Mozafar (1993) بان للبورون دورا مهما في انتاج البذور ففي حالات نقص البورون غالبا ماتفشل النباتات في انتاج معدل طبيعي من البذور بسبب تاثر انتاج البذور وعقد الازهار وتلقيحها، فقد لوحظ بان نقص البورون في نباتات الجت زاد من عقم الازهار وادى الى تقليل نمو الانابيب اللقاحية وبالتالي انخفاض كمية البذور المنتجة. وفي دراسة نفذها العيساوي (2010) في كلية الزراعة /جامعة بغداد خلال الموسمين الزراعيين 2007 – 2008 و2008–2009 بهدف معرفة تاثير الرش باربعة تراكيز من البورون (0، 100، 200 و300) ملغم.لتر$^{-1}$ من البورون في عقد وانتاجية ونوعية البذور وبعض الصفات الاخرى لستة اصناف من الباقلاء وجد ان التسميد الورقي بالبورون ادى الى زيادة حاصل البذور اذ اعطى التركيز 100 ملغم.لتر$^{-1}$ بورون اعلى معدل لحاصل البذور بلغ 3136 و3269 كغم.هـ$^{-1}$ قياسا بمعاملة المقارنة والتي اعطت 2507 و2540 كغم.هـ$^{-1}$ ولكلا الموسمين، ولم تؤثر تراكيز البورون معنويا في النسبة المئوية للبروتين في البذور. وفي دراسة نفذتها حسين (2011) في كلية الزراعة – جامعة بغداد حول تأثير الرش ببعض المغذيات ومنها البورون في نمو وحاصل الباقلاء تبين ان للبورن المضاف رشاً (0.75 – 1.25 غم حامض بوريك لتر$^{-1}$او 127.5 – 255.0 ملغم B لتر$^{-1}$) اهمية كبيرة في التأثير في الحياتية الزهرية لمحصول الباقلاء وفي الحاصل الكلي للقرنات الخضراء. اذ ان الرش بالبورون وبالتركيز الاعلى ادى الى زيادة الحاصل الى 16.56 طن هـ$^{-1}$ بالقياس الى 10.63 طن هـ$^{-1}$ عند الرش بالماء فقط. ووجد (Ali وAtte ،2011) زيادة في حاصل الباقلاء وانتاجية المياه نتيجة التسميد بالبورون التي تمت إضافته رشاً على الاوراق.

- البورون الجاهز

البورون الجاهز، المقاس بمستخلصات أو طرائق استخلاص مختلفة في الترب الزراعية يقع بالمدى 5.0 الى 6.5 ملغم كغم$^{-1}$. ومعظم البورون الجاهز في التربة يعتقد بأنه اشتق من الترسبات والمواد النباتية. معدلات التغاير في محتويات البورون في الترب العراقية والنبات تكون كبيرة وهناك مستويات في بعض الترب

والمياه يمكن ان تسبب مشكلة لاسيما لبعض النباتات الحساسة للبورون (العابدي، 1989). ولقد وجد ان البورون المستخلص بالماء الحار من بعض الترب بحدود 1.5 ملغم كغم$^{-1}$ تربة والحد الحرج بحدود 0.7 ملغم كغم$^{-1}$ تربة (عزيز،1989).

- بورون محلول التربة:

يتواجد البورون في محلول التربة بشكل حامض البوريك H_3BO_3 والذي يكتب ايضاً $B(OH)_3$ و $H_2BO_3^-$ وهو الشكل الجيولوجي الأكثر شيوعاً للبورون، مع كون حامض البوريك الأكثر انتشاراً في الترب.

- نقص البورون:

علامات نقص البورون عموماً تظهر على الأوراق حديثة العمر في قمة النبات. هذا الحدوث أيضاً حقيقة للمغذيات الصغرى الأخرى عدا المولبدنوم والتي يتحرك بسهولة بالنبات.

- سمية البورون:

وجد Reisenauer واخرون (1973) ان السمية في حالة عنصر البورون قد تحدث بزيادة قليلة جدا في تركيز المغذي على خلاف بقية ال المغذيات الصغرى. علامات سمية البورون تتشابه في معظم النباتات. وعموماً، تتكون من اصفرار على الحواف والقمم، والتي تتبع بسرعة بتحرقات وثقوب. بالنسبة لسمية البورون فان هذه العلامات تظهر بشكل رئيس في حالتين: بسبب تواجده في ماء الري أو وجوده بشكل حدثي أو غير مقصود مع الإضافة لتصحيح نقص البورون هناك إضافات عالية من مواد تحوي على البورون بكمية عالية مثل إضافة الكومبوست يمكن أيضاً أن تنتج سمية البورون في النباتات. سمية البورون في المناطق الجافة وشبه الجافة ترتبط بشكل متكرر مع ملوحة الترب، ولكن غالباً تأتي من استعمال ماء عالي المحتوى من البورون. استعمال المياه المالحة كمياه الابار والمبازل يمكن ان تكون

مصدراً لتسمم النباتات بالبورون لاسيما الحساسة منها. اذ ان تصنيف منظمة الغذاء والزراعة الدولية FAO 1977 للمياه يشير الى ان تركيز بورون اقل من 0.7ملغم لتر$^{-1}$ يكون مناسب لكل المحاصيل بينما تراكيز اعلى من 3.0ملغم لتر$^{-1}$ يكون غير مناسب حتى للمحاصيل المتحملة. واكد (Sillanpaa، 1989) على ان محتوى البورون في بعض مياه الري في السهل الرسوبي لوادي الرافدين ممكن ان يشكل مشاكل سمية البورون (Sillanpaa، 1989).

- استخلاص البورون الجاهز:

معظم طرائق إستخلاص البورون من الترب الحامضية أو القاعدية تكون متشابهة. الطريقة اللونية أو الطرائق الأخرى لتقدير البورون في مستخلص التربة بقيت على حالها للفحص في الترب الحامضية والقاعدية. الطريقة الأكثر شيوعاً هو الاستخلاص بالماء الحار لأن بورون محلول التربة أكثر أهمية نسبةً إلى امتصاص النبات.

الاستخلاص بالماء الحار للبورون الذائب في الترب تعد الطريقة الأكثر فعالية لتقييم البورون الجاهز للنباتات في معظم الترب الزراعية. عموماً في محلول التربة، أقل من 0.2 ملغم B لتر$^{-1}$ يعد حالة نقص للمحاصيل بينما أعلى من 1.0 ملغم B لتر$^{-1}$ يعد سمي. على اساس كتلة التربة، أقل من 1 ملغم B كغم$^{-1}$ يعد هامشي (قليل) للمحاصيل الحساسة للبورون بينما أكثر من 5ملغم B كغم$^{-1}$ يعد سمي.

- العوامل المؤثرة في تجميع (امتصاص وتراكم) البورون في النباتات:

تستخدم النباتات عادة البورون الذائب في الماء على هيئة حامض البوريك Boric acid وإن من اهم العوامل التي تؤثر في جاهزية عنصر البورون في التربة هي نسجة التربة، pH التربة، رطوبة التربة ودرجة حرارة التربة (Goldberg، 1997).

- درجة تفاعل التربة (Soil pH) عامل مهم يؤثر في جاهزية البورون في الترب. عموماً البورون يصبح أقل جاهزية للنباتات مع زيادة الـ pH. لاحظ عدد كبير من الباحثين وجود علاقة ارتباط سلبية بين تجمع البورون في النبات والـ pH. إضافة الكلس للتربة قللت تجمع البورون في النبات عندما كان احتياطي أو مخزن بورون التربة عالي وفسروا هذا التأثير إلى المحتوى العالي للكالسيوم.
- نسجة التربة: نسجة التربة عامل مهم يؤثر في جاهزية البورون. دراسة لتربة من كندا الشرقية بينت أن كميات عالية من البورون المستخلص بالماء الحار تواجدت في الترب الناعمة بالقياس الى الترب الخشنة النسجة. الترب ناعمة النسجة عموماً تتطلب أكثر بورون من الترب خشنة النسجة لإنتاج تراكيز بورون متشابهة في النباتات. تراكيز البورون في المحاصيل بحدود 3.5 ملغم كغم$^{-1}$ في تربة مزيجة رملية و4.5 ملغم كغم$^{-1}$ في مزيجة طينية نتجت تراكيز مشابهة للبورون في الماش.
- المادة العضوية للتربة SOM: البورون الذائب بالماء الحار في التربة ارتبط بشكل موجب مع المحتوى من المادة العضوية في التربة. البورون في المادة العضوية يتحرر بشكل جاهز بمساعدة الأحياء المجهرية.
- الامتزاز: عندما يتحرر البورون من معادن التربة، أو يتمعدن من المواد العضوية، أو يضاف إلى التربة من خلال مياه الري أو التسميد، بعض البورون أو جزءاً منه يتبقى في المحلول وجزء منه يمدص (يمتز) بوساطة دقائق التربة. هناك اتزان يحصل بين البورون الذائب في محلول التربة والبورون الممتز والامتزاز تزداد مع الزمن.
- احتفاظ التربة للبورون: يعتمد على عدد من العوامل مثل تركيز البورون في التربة، pH التربة، النسجة والمادة العضوية والـCEC ونوع الأيونات المتبادلة ونوع المعدن الطيني والمعادن المغلفة للأطيان، الالايت يعد أكثر تفاعلاً مع البورون والكاؤولنايت الأقل تفاعلاً على أساس كتلي. اوضح Goldberg (1997) ان بعض المعادن الموجودة في الترب قد تقوم بامتزاز البورون على

سطوح دقائقها مما يجعل البورون غير جاهز للامتصاص من قبل النبات، من بين هذه المعادن معادن الكاربونات وهيدروكسيد المغنيسيوم واوكسيدات كل من الحديد والألمنيوم وبعض معادن الطين والمادة العضوية. كما ان البورون قد يتم غسله من الترب اثناء الفيضانات، او في المناطق ذات المناسيب العالية من الامطار او في عمليات الري الكثيف وغير المنتظم. ومع هذا اثبتت بعض النتائج ان قوة ربط البورون في الترب الكلسية ليس عالياً بالقياس الى الترب الاخرى (الحامضية) مما يشير الى امكانية اطلاقه بسهولة الى المحلول (العامري، بيداء،2012).

- ملوحة التربة:زيادة مستوى ملوحة التربة قللت من تركيز البورون في الحُمّص (Chickpea)؛ هذا التأثير أصبح أكثر قوة عند المستويات العالية للبورون.
- العوامل المناخية: دراسات حقلية في بنغلادش اوضحت أن بعض العوامل المؤثرة في العقم في الحنطة هو درجة الحرارة الواطئة لمدة عدة أيام في فترة التزهير، وتربة مشبعة أو غدقة. هذه العوامل تؤثر في النتح، والذي يؤثر بالتالي في نقل البورون في النباتات خلال الفترة ما قبل أو خلال فترة التزهير.
- ماء الري: بشكل عام هناك مياه ري قليلة تحوي كمية بورون لتؤذي أو تجرح النبات بشكل مباشر. الاستعمال المستمر للري وتركيز البورون في التربة نتيجةً التحرر هو السبب في السمية النهائية للبورون. في المناطق الجافة وشبه الجافة تركيز البورون في مياه الري لاسيما الماء الأرضي (الماء الجوفي) غالباً يرتفع وفي حالات يصل إلى 5 ملغم لتر$^{-1}$ معظم المياه السطحية تحوي تراكيز بورون بحدود 0.1 إلى 0.3 ملغم لتر$^{-1}$، لكن مياه الآبار أكثر تغايراً في محتواها من البورون وغالباً تحوي كميات عالية وبعض مياه الأنهار المستعملة في الري يمكن أن تظهر تراكيز عالية للبورون عند أوقات معينة في السنة نتيجةً لمساهمة بزل الربيع لأراضي عالية البورون. وهناك دراسة نفذت في دير الزور السورية بينت ان هناك تراكيز عالية من البورون في مياه الري والتي كانت مياه ابار وتأثر محصول الشعير سلباً بهذه التراكيز الا ان

تحمل محصول الحنطة كان افضل نتيجة تراكم البورون في جذور الحنطة (منظمة ايكاردة – اتصال شخصي 2011).

حركة البورون في النباتات ارتبطت مع النتح. لذلك أي مكون من مكونات المناخ أو البيئة الذي يؤثر في تدفق النتح يمكن أن يساهم في جاهزية البورون. لقد افترض أن نقصان جاهزية البورون الذي يقود إلى عقم في الحنطة هو بسبب نقص الماء وكذلك التدفق في المنطقة الجذرية.

- اسمدة البورون:

مع تكثيف إنتاج المحاصيل، فان الحاجة إلى التسميد بالمغذيات الصغرى يزداد. نقص البورون ثم تشخيصه بأنه الأكثر شيوعاً بين مشاكل المغذيات الصغرى في الزراعة.

البوراكس والسوليبور أكثر أسمدة البورون شيوعاً. البوراكس ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) كان ولا يزال من أهم المعادن التجارية أو المصادر السمادية المهمة للبورون لقرون. وهناك دراسة موسعة حول البورون وسلوكيته في الترب الكلسية (الفلاحي 2000).

6.8 النحاس Copper

النحاس في النباتات:

النحاس مكون لبعض الانزيمات وفيتامين A. تم تشخيص النحاس مغذٍ للنباتات في ثلاثينيات القرن الماضي. وقبل هذا التشخيص كان الاستعمال الرئيس للنحاس كمبيد كيميائي للادغال والفطريات. وعلى الرغم من كون النحاس اساسي لنمو النباتات الا انه سمي في تراكيز معينة لاسيما التراكيز العالية. امتصاص النحاس يتأثر بعدة عوامل ومنها درجة التفاعل الـpH للتربة وانواع النحاس وتركيزه في التربة والمادة العضوية. وبمجرد دخول النحاس الى النبات

يصبح غير متحرك او تكون حركته قليلة. الاستعمال المتزايد للمبيدات الفطرية الحاوية على النحاس وتلوث الترب القريبة من عمليات التعدين خلقت مشاكل السمية في بعض المناطق الزراعية. ولذلك فإن عملية معالجة المشاكل الناجمة عن النحاس والنباتات المتحملة للنحاس في اهمية متزايدة.

عموماً متطلبات النباتات من النحاس تختلف بشكل كبير بين النباتات وحتى بين الاصناف للنبات نفسه، لاسيما في تراكم النحاس وكأمثلة على ذلك فان متوسط قيم النحاس في النباتات العلفية في الولايات المتحدة كان 8 ملغم كغم$^{-1}$ (المدى 1 – 16 ملغم كغم$^{-1}$). اما محتوى بعض الحشائش البرية النرويجية فكان 0.9– 27.2 ملغم كغم$^{-1}$. تركيز النحاس في اوراق طماطة نامية في بيوت زجاجية في تركيا كان 2.4– 14.90 ملغم كغم$^{-1}$. وبشكل عام محاصيل الخضر التي تملك استجابه واطئة لإضافة النحاس هي الاسبركس والفاصولياء والبزالياء والبطاطة.اما محاصيل الخضر ذات الاستجابة العالية هي البنجر والخس والبصل والسبانغ في استراليا التركيز الحرج للنحاس في الاجزاء العليا الفتية كان 4.6 ملغم كغم$^{-1}$ للعدس و2.8 ملغم كغم$^{-1}$ للفاصولياء و1.5 ملغم كغم$^{-1}$ للحنطة.

النحاس في اسمدة المغذيات الصغرى يتواجد بشكل كبريتات النحاس واوكسيد النحاس، ولكن كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$ هي الاكثر انتشاراً بسبب الذوبانية العالية بالماء ورخص الثمن. النحاس يمكن ان ينثر او يضاف بشكل حزم او رش والاضافة رشاً للنحاس المخلبي اثبتت عدة نجاحات في تصحيح النقص خلال موسم النمو. هنالك تحديدات حول كمية التسميد بالنحاس فمثلاً في ايطاليا كمية السماد الحاوي على النحاس وبضمنه المضاف من الدمن يجب ان لايتجاوز 5 كغم هـ$^{-1}$ سنة$^{-1}$. النحاس يزيد من انبات البذور وهذا يمكن ان يعزى الى تغير الجهد الازموزي الذي يشجع بامتصاص الماء الى البذور.

- **نقص النحاس في النباتات:**

نقص النحاس في بعض المحاصيل ازداد في السنوات الاخيرة بسبب زيادة انتاجية النباتات وبالتالي زيادة المتطلبات الغذائية والازدياد المستمر في استعمال اسمدة مركبة عالية المحتوى من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم وواطئة المحتوى من المغذيات الصغرى وانخفاض استعمال الاسمدة الحيوانية. وتختلف النباتات في حساسيتها لنقص النحاس وتعد الحنطة والشوفان والحشيش السوداني والجت تعد نباتات اكثر حساسية والشعير والذرة الصفراء والبنجر السكري متوسطة الحساسية.وعموماً مستوى اقل من 2 ملغم كغم نحاس يعد غير كافي للنباتات.

النحاس في التربة:

النحاس معروف من بين العناصر المغذية الصغرى الاكثر تغيراً في قابليته في التفاعل مع معادن التربة والمركبات العضوية. النحاس يمكن ان يتواجد بشكل ايوني او معقدات في محلول التربة وكأيون موجب متبادل او ممتز بشكل نوعي على المواد العضوية ويتجمع على الاكاسيد والمعادن. طريقة الاستخلاص ونوعها تؤثر في الكمية المستردة من النحاس.

جاهزية النحاس في الترب:

الجاهزية الحيوية لمعظم الترب يسيطر عليها بعمليتي الامتزاز– التحرر(عكس الامتزاز).مادة التربة العضوية تمتلك الفه عالية مع النحاس حتى عند تواجد النحاس بتراكيز واطئة. سعة الترب في امتزاز النحاس تتبع الترتيب التناقصي التالي محتوى الترب من المادة العضوية واكاسيد الحديد والالمنيوم ومعادن الطين.

جاهزية النحاس تتأثر عموماً وبدرجة كبيرة بدرجة تفاعل التربة pH اذ ان هناك انخفاض مقداره 99٪ لكل زيادة وحدة واحدة في قيمة الـpH في الاتجاه

القاعدي. صورة الـ Cu^{2+} هي السائدة عند pH اقل من 7.3 وهي التي تحدد الجاهزية الحيوية للنحاس للنباتات. ومع ان تلوث التربة بالنحاس من الممكن ان يسبب سمية للنباتات الا ان تأثر الجاهزية الحيوية bioavailability للنحاس في التربة بدرجة تفاعل التربة الـpH ممكن ان يقلل من هذه السمية لاسيما بالترب الكلسية والقاعدية كترب العراق اذ ان وجود الكلس يمكن ان يزيل هذه السمية او يقللها(Marcel van der Perk,2006). كما ان التلوث بالنحاس يمكن ان يؤثر في الاحياء المجهرية لاسيما المثبتة للنتروجين ومعدنة المواد العضوية في التربة.

كمية النحاس المزال من قبل النباتات عموماً قليل ولايشكل الا جزء بسيط من نحاس التربة وعموماً بحدود 20 – 40 غم هـ$^{-1}$. استخلاص النحاس يمكن ان يتم بوساطة EDTA او مستخلصات اخرى حسب نوع التربة. الفحوصات في العراق تشير الى ان مستوى النحاس في الترب العراقية ضمن المعدلات الإعتيادية والاستجابة للنحاس غير متوقعة (العابدي،1989). وبالعكس من ذلك فقد اشار صديق واخرون 1989 الى ان المحتوى الجاهز من النحاس في بعض ترب الشمال دون الحد الحرج مما يشير الى ان احتمالية الاستجابة للتسميد بهذا العنصر واردة (صديق واخرون 1989). المستخلص من النحاس بطريقة AAAC-EDTA يبلغ معدل 5.0 ملغم كغم$^{-1}$ تربة في حين يبلغ معدل المستخلص بمستخلص الـDTPA 3.0 ملغم كغم$^{-1}$ تربة وكانت الطريقة الاخيرة اكثر ارتباطاً مع الجزء الممتص من قبل النبات والحدود الحرجة حسب هذه الطريقة 0.4 ملغم كغم$^{-1}$ تربة(عزيز،1989)

النحاس وصحة الإنسان:

استعمال النحاس للاغراض الطبية ترجع الى قدماء المصريين والصينين واستعمل تاريخياً في معالجة جروح الصدر وتنقية مياه الشرب. وحديثاً يستعمل النحاس مضاد للبكتريا ومضاد للجير في غسول الفم ومعاجين والاسنان.الحد المسموح به في الوجبة الغذائية للنحاس تم تحديثه عام 2001 الى900 مايكروغرام

/فرد/يوم. ولأن النحاس حيوي ومهم جداً خلال مرحلة الرضاعة وخلال الحمل وفترة الرضاعة تشجع النساء باستهلاك 1000 الى1300 مايكروغرام نحاس باليوم. منظمة الصحة العالمية WHO وادارة الزراعة والغذاءFAAاقترحت ان معدل استهلاك الفرد من النحاس يجب ان لايتجاوز 12 ملغم يوم$^{-1}$ للذكور البالغين و10 ملغم يوم$^{-1}$ للإناث البالغات. الحد الاعلى الممكن تحمله هو 10 ملغم يوم$^{-1}$. جسم البالغ يمكن ان يحتوي على 1.4 – 2.1 ملغم نحاس كغم وزن الجسم.

اعراض سمية النحاس وبالرغم من ندرتها الا انها ممكن ان تتضمن طعماً معدنياً في الفَمِّ ومشاكل معوية او إضطراب في المعدة، غثيان، وإسهال. هذه الأعراضِ عادة تتوقف عند ازالة المؤثر وهو النحاس العالي.

ولأن الانابيب والصنابر او بشكل عام الصحيات في البيت يمكن ان تكون مصدر للنحاس في ماء الشرب، وفي أكثر البيئاتِ، تجمعّات نحاسية في الماءِ الصالح للشربِ التي يكون مصدرها الانابيب والصنابر تحتوي على أقل مِنْ 1 ملغم لتر$^{-1}$. السمية المرتبطة بانابيب الصحيات نادرة ولكن هناك امثلة موجودة.

8.7 المولبدنوم Molybdenum :

عنصر اساسي لصحة النبات. يستعمل بشكل رئيس في اختزال النترات الى اشكال يمكن استعمالها من قبل النبات. بعض النباتات تستعمله في عملية تثبيت النتروجين الجوي، لذلك من الممكن ان تكون هناك حاجة لإضافته للتربة قبل زراعة المحاصيل البقولية.

- **الوظائف في النبات:**

المولبدنم عنصر انتقالي اساسي لمعظم الاحياء ويتواجد في اكثر من 60 انزيم ويساهم ويحفز تفاعلات اكسدة واختزال متعددة. ومع ان العنصر يمكن ان يتواجد في حالات اكسدة من 0 الى 6 وان حالات الاكسدة الاعلى 4 و5 و6 مهمة

في الانظمة الحيوية. ادوار المولبدنم للنباتات والاحياء الاخرى ترتبط بتغير الشحنات. هناك عدداً من الانزيمات الحاوية على المولبدنم مثل النتروجنيزو النايتريت ردكتيزو زانثين دي هايدوجنيزو الدهايد اوكسايد انزيمات اخرى سيتم التطرق اليها ادناه ذات اهمية كبيرة للنباتات. وبسبب اشتراك المولبدنم في تثبيت النتروجين الجوي واختزال النترات ونقل مركبات النتروجين في النباتات فان المولبدنم يلعب دوراً مهماً في بناء النتروجين في النباتات.

- تشخيص حالة المولبدنم في النباتات:

- النقص:

اكتشاف المولبدنم كمغذي اساسي قاد الى ضرورة تشخيص النقص في عددٍ من المحاصيل مع اول تقرير للموضوع كان مع البرسيم الحجازي (Trifolium subterraneum L.). التركيز الحرج لمعظم النباتات واطئ وعموماً بحدود 0.1 – 1.0 ملغم Mo كغم$^{-1}$ على اساس الكتلة الجافة. ولكون المولبدنم عالي الحركة باوعية الخشب واللحاء في النبات فان اعراض نقصه تظهر على اجزاء النبات ككل وبشكل مختلف نوعاً ما عن المغذيات الصغرى الاخرى التي تظهر اعراض نقصها على النموات الحديثة عموماً. كما ان نقص المولبدنم غريب من ناحية ان نقصه يتداخل ويتشابه مع نقص النتروجين ولاسيما مع المحاصيل البقولية ولكن عند النقص الشديد تكون العلامات خاصة بالمولبدنم. النقص له علاقة بوظائف المولبدنم والتي هي اساساً تثبيت النتروجين وتمثيله. ولذلك النباتات البقولية لاسيما التي تعتمد في تغذيتها من النتروجين على النتروجين الجوي المثبت، لها متطلبات خاصة من المولبدنم.

- الزيادة:

معظم النباتات غير حساسة بشكل خاص لزيادة المولبدنم في وسط النمو او المحلول المغذي والحد الحرج للسمية يختلف بشكل كبير بين النباتات. مثال ذلك

الموليبدنم سام للشعير اذا تجاوز التركيز في الاوراق 135 ملغم Mo كغم$^{-1}$ مادة جافة، ولكن في القرنابيط والبصل يمكن ان تتجمع تراكيز تصل الى 600 ملغم Mo كغم$^{-1}$ مادة جافة بدون ظهور علامات السمية. ومع هذا فإن تراكيز اعلى من 500 ملغم Mo كغم$^{-1}$ يمكن ان تؤدي الى سمية لمعظم المحاصيل.

تركيز الموليبدنم وتوزيعه في النباتات:

متطلبات النباتات من الموليبدنم واطي جداً ويعد الاقل بين كل المغذيات عدا النيكل. النباتات تختلف في قابليتها على متصاص الموليبدنم من وسط نمو الجذور، ومدى الكفاية يختلف بين النباتات بشكل كبير. معظم النباتات تحوي كفاية من الموليبدنم الذي يكون بحدود 0.2 الى 2 ملغم Mo كغم$^{-1}$ في انسجتها الجافة. مصدر النتروجين المضاف يؤثر في المتطلبات وعموماً استخدام النترات يترافق مع متطلبات اعلى، وهناك جدال مستمر حول مدى حاجة النباتات التي تسمد بالنتروجين المختزل للموليبدنم. محصول مثل القرنابيط يبدي نقص الموليبدنم بغض النظر عن مصدر السماد النتروجيني في حالة عدم اضافة الموليبدنم. لوحظ عند تغذية القرنابيط بكبريتات الامونيوم في وسط معقم (لاتوجد نترجة) كانت النباتات طبيعية ولم تظهر حالة النقص، اما تحت الظروف غير المعقمة علامات النقص كانت واضحة. ومع ها اشار Hewitt الى ان الاهمية للموليبدنم قليلة في حالة النباتات المجهزة بالاشكال المختزلة للنتروجين الا انه لايمكن ان يكون الكلام قطعي لاسيما تحت ظروف التحاليل والاجهزة المتوفره. و عموماً، يمتص النبات بواسطة جذوره الموليبدنم بشكل الموليبيدات MoO_4^{2-} والامتصاص يبدو انه حيوياً اي يحتاج الى الطاقة.

- **تقييم حالة الموليبدنم في الترب:**

معظم الترب الزراعية تحوي كميات واطئة من الموليبدنم وبمعدل 2.0 ملغم Mo كغم$^{-1}$ موليبدنم كلي و0.2 ملغم Mo كغم$^{-1}$ موليبدنم جاهز.الترب

المشتقة من الكرانيت او الـ organic-rich shale اوالصخر الكلسي limestone او عالية المحتوى بمادة التربة العضوية للتربة عادةً غنية بالموليبدنم، والموليبدنم الجاهز يزداد عموماً مع زيادة القاعدية او نعمومة نسجة التربة. بالمقابل الترب جيدة البزل وخشنة النسجة او الترب المجواة او الحامضية تعاني من نقص الموليبدنم في الترب يتواجد الموليبدنم باربع اشكال هي الذائب والممتز على الاكاسيد وبشكل معدني ومع المواد العضوية.

- صور الموليبدنم في التربة:

انواع وجاهزية الموليبدنم في التربة له علاقة بدرجة تفاعل التربة الـ pH. عند ما يكون pH الماء اعلى من 5.0 يتواجد الموليبدنم بشكل رئيس بصورة الموليبيدات MoO_4^{2-}، ولكل وحدة زيادة في الـ pH فوق الـ 5.0 يزداد الموليبدنم الذائب بحدود 100 مرة. النباتات تفضل الموليبيدات بصيغة MoO_4^{2-} ولذلك فإن تغذية النباتات بالموليبدنم يمكن تحويره ومعالجته بتغيير الـ pH. عملية اضافة الكلس للترب الحامضية يزيد من جاهزية الموليبدنم ويصحح النقص من خلال زيادة الموليبدنم الجاهز في محلول التربة، الا ان الاضافات العالية للكلس ممكن ان تقلل الجاهزية من خلال تكوين $CaMoO_4$، ولكن العالم Lindsay يقترح ان هكذا معقد ذائب الى درجة لايمكن ان يبقى في التربة على حالته. استعمال الكلس لتغيير درجة التفاعل لتربة مزيجة طينية الى 6.5 نتج عن تجمع موليبدنم اعظم في القرنابيط والجت والثيل ولكن التأثير لم يكن واضحاً في التربة المزيجة الرملية.

المادة العضوية للتربة وجد انها اما ان تعمل معقد مع الموليبدنم او تثبته ولكن ميكانيكية الامتزاز غير مفهومة بشكل جيد. الموليبدنم يرتبط بقوة مع الاحماض الدبالية والفولفية، وبسبب الالفة مع الاحماض العضوية يلاحظ ان تركيز الموليبدنم في طبقة الغابات العضوية يمكن ان يصل الى 50ملغم Mo كغم$^{-1}$ تربة.

الترب الغننية بالمادة العضوية يمكن ان تجهز كمية مناسبة من الموليبدنم للنباتات النامية بسبب التحرر البطئ للموليبدنم من المعقدات العضوية، ومع هذا فإن هناك تقارير متضاربة حول جاهزية الموليبدنم في محلول التربة وعلاقته بالمادة العضوية للتربة. اذ ان جاهزية الموليبدنم تكون واطئة في بعض الترب العضوية مثل ترب الدرين بسبب التثبيت العالي للموليبدنم على الاجزاء الدبالية. بالمقابل هناك بحوث تشير الى ان المادة العضوية للتربة تزيد من جاهزية الموليبدنم للترب الحامضية من خلال خفض التثبيت مع اكاسيد الحديد والالمنيوم.

- **التداخل مع الكبريت والفسفور:**

تغذية النبات بالموليبدنم يمكن ان يتاثر بالتداخل بين الموليبدنم والايونات الاخرى في التربة مثل الفوسفات والكبريتات لكونها ايونات سالبة الشحنة. لقد تم التوثيق وبنوع جيد ان إمتصاص النبات للموليبدنم يتحفز بوجود الفسفور الذائب ويقل بوجود الكبريتات. بالمقارنة مع الموليبدات فان الفوسفات يمتلك الفة عالية للإمتزاز على مواقع الامتزاز في التربة مثل اكاسيد الحديد والالمنيوم ولذا التسميد بالفسفور في الغالب يؤدي الى تحرر الموليبدنم المرتبط بالتربة الى محلول التربة ويزيد من تجمع الموليبدنم في النباتات. الفسفور يمكن ان يحفز امتصاص الموليبدنم من خلال تكوين معقدات فوسفو موليبيدات في التربة والتي تكون جاهزة للامتصاص من قبل النباتات. تأثير الكبريت في الموليبدنم يبدو انه يتأثر بالمنافسة المباشرة بين الكبريتات والموليبيدات خلال الامتصاص من الجذور. لقد لوحظ ان اضافة الكبريتات الى وسط النمو او التربة قلل من الموليبدنم الممتص من قبل نباتات الطماطة والبزاليا.

- **العوامل المؤثرة في جاهزية الموليبدنم:**

- pH محلول التربة: جاهزية الموليبيدات تختلف عن بقية المغذيات الصغرى اذ تزداد جاهزيتها مع زيادة الـpH.

- اكاسيد الحديد والالمنيوم: تقل جاهزية الموليبدات مع زيادة هذه الاكاسيد بسبب الامتزاز القوي.
- التداخل مع الانيونات الاخرى: زيادة الفسفور يمكن ان يشجع امتصاص المولبيدات الا ان زيادة الكبريتات يمكن ان تقلل من الامتصاص.
- نوع النبات: تختلف النباتات في حساسيتها لنقص المولبدنم وتعد محاصيل الخس والسبانغ حساسة للنقص بينما البطاطا قليلة الحساسية.

- اسمدة المولبدنم:

عدة مصادر سمادية تجهز المولبدنم يمكن استعمالها لتصحيح نقص المولبدنم في المحاصيل. هذه المصادر تختلف في ذوبانيتها ومحتواها من المولبدنم وفعاليتها التي تعتمد على طريقة الاضافة ومتطلبات النبات وعلى عدد من عوامل التربة المؤثرة ومن هذه الاسمدة موليبدات الصوديوم وموليبدات الامونيوم.

8.8 الكلوريد Chloride:

الكلوريد يصنف على أنه مغذٍ من المغذيات الصغرى، ولكنه أحياناً يمتص بوساطة جذور النباتات بمستوى يوازي المغذيات الكبرى. الكلوريد ضروري للعملية الازموزية وتوازن الايونات ويلعب دوراً في البناء الضوئي.

عُدَّ الكلوريد عاملاً محدداً لنمو وإنتاج المحاصيل تحت الظروف الحقلية في الثمانينات من القرن الماضي 1980 واصبحت الاستجابة لبعض المحاصيل لإضافة الكلوريد مشخصة ومعروفة بشكل أوسع. ومع إن الكلوريد جلب انتباه اختصاصيو الحقليات Agronomists فإن معظم التركيز على الكلوريد في إنتاج المحاصيل كان ولا يزال على أساس وجوده بمستويات عالية في التربة والمياه والأسمدة لاسيما في الترب المتأثرة بالاملاح كترب وسط وجنوب العراق.

- وظائف الكلوريد في النبات:

الكلوريد يمتص بشكل ميسر بوساطة النباتات بشكل أيون كلوريد (Cl^-). ومع إن الكلوريد يتواجد في النباتات بشكل مركبات عضوية كلوريدية، الا ان الكلوريد هو الشكل الرئيس في داخل أو ضمن النباتات والتي عندها يرتبط بشكل ضعيف أو مفكك إلى مواقع التبادل أو انه أيون سالب حر الحركة متحرك بشكل عالي في ماء التربة.

كمغذٍ أساسي، فإن الكلوريد له عدداً من النشاطات الكيموحيوية والفسلجية ضمن النباتات، إذ انه مطلوب لنشاط أنزيمي مثالي لتمثيل الاسبارجين سنثيز الأمليزوالـ ATP_{ase} في البناء الضوئي الكلوريد عامل مساعد أساسي في تنشيط انزيمات انبعاث الأوكسجين ومع هذا تراكيز الكلوريد المطلوبة في النشاطات الكيموحيوية واطئة نسبياً مقارنة بالتراكيز المطلوبة لتنظيم الأزموزيه.

في الأنسجة المتمددة بسرعة مثل الخلايا المستطيلة (في دور الاستطالة) للجذور والسيقان فإن الكلوريد يتجمع من التونوبلاست (غشاء الفجوة) ليعمل كذائب نشط أزموزياً. هذا الانتقال للكلوريد إلى داخل غشاء الفجوة يحدث بالتعاون مع نشاط ضخ البروتونات المسيرة بالـ ATP_{ase} عند غشاء الفجوة، التي تحفز بشكل نوعي بالكلوريد.هذا الدور الازموزي التنظيمي في أنسجة معينة يتطلب تراكيز كلوريد اعلى مما هو مطلوب لأي مغذٍ من المغذيات الصغرى. تجمع الكلوريد في خلايا النبات يزيد من المحتوى المائي للنسيج والضغط الانتفاخي ويعمل بشكل قريب مع البوتاسيوم ليقدم الدعم والمساعدة في استطالة الخلية والنمو. أهمية هذا التنظيم الأزموزي للكلوريد في النباتات يعتمد على ظروف النمو وتواجد الأيونات السالبة البديلة مثل النترات والتي يمكن أن تعمل عوضاً عن الكلوريد.

الكلوريد سويةً مع (البوتاسيوم) يشارك في فتح الثغور من خلال الحركة من خلايا البشرة (epidermal Cells) الى الخلايا الحارسة للعمل كمواد مذابة أزموزية تؤدي إلى امتصاص الماء إلى وبعيداً عن الخلايا الحارسة. الكلوريد ومع هذا ضروري وأساسي في فعالية الثغور في بعض الأنواع النباتية، في البصل (Allium cepa L.) مثلاً والتي تكون فيها الخلايا الحارسة غير قادرة على صنع الماليت، هناك متطلبات لدخول الكلوريد المساوي أو المكافئ للبوتاسيوم لإحداث فتح الثغور.وكأيون سالب فإن الكلوريد يعمل لموازنة الشحنات من الأيونات الموجبة. النباتات المجهزة بشكل جيد بالكلوريد، هذا الأيون السالب يمكن أن يعمل كبديل لتكوين الماليت في موازنة الشحنات وهذا الدور للكلوريد يمكن أن يكون ذا أهمية كبيرة عندما تتجاوز امتصاص الأيونات الموجبة الأيونات السالبة، كما يحدث عند تغذية النبات بالأمونيوم.

تشخيص حالة الكلوريد في النباتات:

- علامات النقص:

علامات نقص الكلوريد تم وصفها بشكل جيد في عدة محاصيل من خلال تنمية النباتات في محاليل مغذية خالية من الكلوريد. الصفة الأكثر وصفاً وشيوعاً حول النقص للكلور هو ذبول الأوراق، لاسيما في الحواف. وعند تقدم النقص ويصبح أكثر شدةً فإن الأوراق يمكن أن تظهر تجعد، التفاف، وتخرقات. الجذور في النباتات المعرضة للنقص بالكلوريد وصفت بأنها Stubby with Club tips.

التأثير المفيد للتسميد بالكلوريد أحياناً ليست نتيجة الاستجابة المباشرة للتحفيز أو التشجيع الناجم عن التغذية بالكلوريد ولكن من الممكن أن ينتج من تقليل أو خفض أمراض النبات. إضافة الكلوريد لوحظ بأنها تقلل من شدة على الأقل 15 مرض ورقي أو جذري في 11 محصول مختلف. عدة ميكانيكيات مختلفة

يمكن أن تصف وتوضح تأثير التغذية بالكلوريد في تقليص وخفض الأمراض وفي زيادة مقاومة النبات المعيل.

المنافسة بين Cl^- و NO_3^- على الامتصاص أيضاً تؤدي إلى خفض تركيز NO_3^- في أنسجة النبات، عندما يمتص النبات أمونيوم أكثر ونترات أقل عادةً تحصل عملية خفض الـpH أو عملية تحميض للرايزوسفير والتي بالتالي يشجع جاهزية المنغنيز. الكلوريد يستطيع تشجيع جاهزية المنغنيز من خلال تشجيع الأحياء المجهرية المختزلة للمنغنيز في التربة. كمية الأحماض العضوية مثل الماليت في أنسجة النبات والمفرزة من الجذور، تتناقص مع تجهيز الكلوريد؛ هذا الفعل يحرم أو يجرد المسبب المرضي من المادة العضوية التي يعمل عليها. وعموماً النقص نادر بسبب توافر الكلوريد في الماء والترب.

- علامات الزيادة:

لوحظت علامات سمية الكلوريد في عدة حقول، لمحاصيل خضر والمحاصيل الحقلية ومحاصيل الثمار. التفاف حواف الأوراق وثقوب وحرق حواف الأوراق، وسقوط الأوراق هي علامات مميزة للزيادة بالكلوريد. تظهر علامات الزيادة أولاً على الأوراق القديمة وتتطور العلامات نحو الأوراق الأعلى، مؤثرةً في الأوراق بشكل كلي. الموت التراجعي للبراعم الطرفية والفروع الصغيرة يمكن أن يحدث في حالات السمية العالية. هذه العلامات لسمية الكلوريد تحدث في غياب الصوديوم، ولكنها أيضاً تشابه علامات سمية الأملاح التي تحدث عندما يكون الكلوريد مرتبطاً أو سويةً مع الصوديوم. المحاصيل والأصناف ضمن المحاصيل تختلف بشكل كبير في مقاومتها وتحملها للمستويات العالية من الكلوريد، والذرة الصفراء المتحملة نسبياً للكلور مقارنةً مع فول الصويا.

تراكيز الكلوريد في النباتات:

معظم الكلوريد في النباتات يتواجد بشكل أيون سالب. مع هذا، هناك أكثر من 130 مركب طبيعي يحوي على الكلوريد تم عزلها من النباتات بعض المركبات الحاوية على الكلوريد يمكن أن تتصرف مثل الهرمونات في النباتات، أو يمكن أن تملك فعالية في الحماية ضد الهجوم من الأحياء ووجد في دراسة نفذت في كارولينا الشمالية مع محصول الذرة الصفراء المسمدة بالكلوريد بتراكيز (0، 50، 100، 150 و200) كغم Cl^- هـ$^{-1}$ بشكل KCl أن الكتلة الحية للأجزاء الهوائية (فوق سطح التربة) بعمر 77 يوماً بعد البزوغ جمعت (26، 50، 63، 79، و81) كغم Cl هـ$^{-1}$، بالتتابع. ومع ان الكلوريد مصنف مغذي ضمن المغذيات الصغرى، الا ان التجمع الكلي للكلور غالباً يتجاوز المستويات لتجمع الفسفور في المحاصيل.

- **التوزيع في النباتات:**

معظم الكلوريد في النباتات لايندمج في مركبات أو جزيئات عضوية أو مادة جافة، لكن يبقى في المحلول بشكل كلورايد ويرتبط بشكل مفكك إلى المركبات أو الجزيئات العضوية.

- **تقييم حالة الكلوريد في الترب:**

صور او أشكال الكلوريد:

يوجد الكلوريد في محلول التربة بشكل رئيس في صيغة آيون سالب بشكل كلوريد (Cl^-). تراكيز الكلوريد في مستخلص التربة من الممكن أن يتراوح بين أقل من 1 ملغم كغم$^{-1}$ إلى أكثر من آلاف (عدة آلاف) ملغم كغم$^{-1}$. الكلوريد يمكن أن يتواجد بشكل عضوي مثل بقايا المبيدات الهايدروكاربونية الكلوريدية. بعض هذه الجزيئات الحاوية على الكلوريد غير خاضعة للسيطرة بينما الأخرى يمكن أن تمثل حيوياً أو تتمعدن لتحرير الكلوريد.

مع إن النباتات تستطيع تجميع الكلوريد عن طريق الأوراق ومن المحيط الجوي، فإن تركيز الكلوريد في أنسجة النبات يرتبط بشكل جيد بتجهيز أو مستوى الكلوريد في التربة. فحص الترب للكلوريد يعد روتيني في المختبرات التي تهتم بموضوع مشاكل الملوحة، ولكن فحص التربة لتجهيز الكلوريد للتنبؤ باستجابة المحصول للتسميد حديث نسبياً أو حديث التطور نوعاً ما.

فحص التربة:

لأن الكلوريد عالي الذوبانية ويمدص (يمتز) بشكل ضعيف فإنه يستخلص من التربة بالماء أو أي محلول الكتروليتي مخفف. اختبار المستخلص يعتمد على طريقة التحليل المستعملة لتقدير تركيز الكلوريد من المستخلص. طرائق التحليل للتقدير الكمي للكلوريد يمكن أن تتضمن الطريقة اللونية أو مقياس الجهد أو الطرائق الكراموتوكرافية. الاهتمام والحيطة يجب أن تؤخذ لتجنب مصادر التلوث بالكلور (التساقط، حاويات أو علب حفظ العينات، الغبار، الزجاجيات والماء) خلال أخذ العينات والتحليل المختبري.

في حالات عده، الكلوريد يجهز إلى المحاصيل نتيجةً للاستعمال الواسع للأسمدة المعتمدة على كلوريد البوتاسيوم التي تضاف لتجهيز المحاصيل بالبوتاسيوم (أو تضاف بقصد التجهيز بالبوتاسيوم). المستويات الموصى بها للبوتاسيوم عند إضافته بشكل كلوريد البوتاسيوم ستجهز بشكل عام الكلوريد لمعظم المحاصيل. ومع انه من الممكن ان تجهيز الكلوريد أحياناً يكون محدداً للنمو في مدى واسع من الترب ولكن استجابة المحصول للكلوريد تذهب بشكل غير مشخص أو معترف به لأن الاستجابة تعطى للبوتاسيوم.

أسمدة الكلوريد:

يضاف الكلوريد للتربة من مصادر متنوعة تتضمن الكلوريد من ماء المطر، ماء الري، المخلفات أو الدمن الحيواني وبقايا النباتات والأسمدة وبعض الكيميائيات المضافة لحماية النبات. كمية الكلوريد المضافة أو المودعة سنوياً من المحيط الجوي

تختلف من 18 إلى 36 كغم هـ$^{-1}$ سنة$^{-1}$ للمناطق القارية إلى أكثر من 100 كغم هـ$^{-1}$ سنة$^{-1}$ للمناطق الساحلية. معظم الكلوريد المضاف بشكل مخلفات حيوانية أو بقايا نباتية ذائب بالماء وجاهز للإمتصاص من قبل المحصول. وبسبب كون معظم الكلوريد الموجود في المخلفات الحيوانية بشكل سائل فإن إدارة ونقل المخلفات الحيوانية تؤثر في تركيز الكلوريد.

9.8 النيكل Nickel

النيكل Ni العنصر الاساسي الاكثر حداثة في اكتشاف اساسيته، ويعد منفرد بين مغذيات النبات لأن دوره البنائي تم تحديده بشكل جيد وبمدة قبل التقرير بان نقصه سيؤثر سلباً في نمو النباتات. نقص النيكل يلاحظ الان في الحقول في عدد من المحاصيل المعمرة. اهتمام علماء النبات في دور النيكل بدء بعد اكتشافه في عام 1975 ويعد مكون حرج ومهم لأنزيمات النبات واليوريز. التقرير النهائي باساسية النيكل جاءت بعد التطور في التقنيات والاجهزة الحديثة التي تستطيع من تنقية وسط النمو وتستطيع قياس وتحسس التراكيز الواطئة جداً للنيكل في النباتات.

ومع ان النيكل تم قبوله مغذياً اضافياً الى المغذيات الصغرى الا ان الوظيفة المعرفة بشكل جيد للنيكل هي في التمثيل الحيوي لليوريا. وهذه العملية لا يعتقد بأنها اساسية للنباتات المجهزة بمصادر نتروجينية غير اليوريا. ومع هذا ومن اجل فهم كامل لدور النيكل واداراته في الانظمة الزراعية فمن الضروري مراجعة ادوار النيكل في الانظمة الاخرى وفهم ظروف التربة والنبات التي عندها من المحتمل ان يحدث نقص للنيكل.

- أساسية ودور النيكل في النباتات:

لقد كان من الصعب قياس النيكل بتراكيز اقل من 0.1 ملغم Ni.كغم$^{-1}$ وزن جاف الذي تبين بعد ذلك انه حد حرج لنمو نبات طبيعي. في غياب

المعلومات حول تراكيز النيكل في الانسجة فأن من المستحيل الاستنتاج ان الانتاج الملاحظ كان نتيجة لتصحيح نقص النيكل في النبات.

من خلال الاشارة الى ان اضافة النيكل لتربة مزروع فيها فول الصويا في الحقل نتج عنها زيادة معنوية في وزن العقد وانتاج البذور. وكان الاقتراح ان الزيادة في الانتاج كان نتيجةً لمتطلبات النيكل للرايزوبيا المثبتة للنتروجين. دور معين للنيكل في البكتريا المثبتة للنتروجين تم تأسيسه الان بشكل جيد مع التقدير بأن الهايدروجينيز المعتمد على النيكل فعال ونشط في عدد من بكتريا الرايزوبيا ولذلك فهو اساسي لتثبيت اقصى للنتروجين. النيكل ايضاً معروف بأنه اساسي لبكتريا السايانوبكتريا حرة المعيشة المثبتة للنتروجين (Nostoc muscorum C.A. Adargh) خلال ميكانيكية معينة لم تحدد بشكل جيد.

لوحظ دور للنيكل في مقاومة الامراض النباتية منذ مدة طويلة وتم تفسير ذلك او اعزي الى تأثير على حيوية وصحة الباثوجين، او لدور النيكل في ميكانيكية مقاومة النبات للمرض. ان النيكل من المحتمل ان يعمل على تقليل الامراض النباتية من خلال سميته للمسبب المرضي بشكل مباشر. وبغض النظر عن الميكانيكية فأن هناك تأثير موجب لتجهيز واضافة النيكل لمقاومة الامراض تم توثيقها بشكل واضح. ومع هذا تثبيط بالنمو لم يلاحظ بشكل واضح عند التسميد بمصادر اخرى غير اليوريا.

ومع ان النيكل قبل بشكل عام مغذياً اساسياً، هناك سبب كي نكون حذرين حول هذا الاستنتاج، وبعض المؤلفين لايزال يقترح ان النيكل من المحتمل ان لايلبي بشكل كامل التعريف والمفهوم المحدد للعنصر المغذي الاساسي ودوره في عملية حيوية بنائية اساسية لم تشخص بشكل جيد.

بغض النظر عن هذه الاختلافات الظاهرية، النيكل لايزال وبوضوح مطلوب لبناء حيوي (ايض) النبات الاعتيادي. وكمكون لليوريز فأن النيكل مطلوب في ايض

اليوريا والارجنين وكلا الايضين مكونين اعتياديين للنباتات. النيكل ايضاً مكون اساسي للهيدروجينيز المشترك في تثبيت النتروجين الحيوي والعمليات البكتيرية المتأسسة معه، والنيكل بشكل واضح يؤثر في استجابة النبات للامراض، لذلك فإن النيكل بشكل واضح يعد مكون اعتيادي في حياة النبات.

تراكيز النيكل في النباتات:

تراكيز النيكل في اوراق النباتات المزروعة في تربة غير ملوثة يتراوح بين 5.0-0.05 ملغم Ni.غم$^{-1}$ وزن جاف. المدى الملائم للنيكل يبدو بأنه بين 10-0.01 ملغم Ni.كغم$^{-1}$ وزن جاف والذي هو بمدى واسع جداً مقارنة بالمغذيات الاخرى.

النيكل وبشكل مختلف عن بقية الايونات الموجبة الثنائية، يعاد توزيعه بشكل ميسر داخل النبات كمعقد من الاحماض العضوية والاحماض الامينية. النيكل وبشكل سريع يعاد توزيعه من الاوراق الى الانسجة اليافعة (الحديثة التكوين) في اللحاء لاسيما في فترة النمو التكاثري، وان 70٪ من النيكل في الاجزاء العليا انتقلت الى بذور فول الصويا. النيكل يرتبط بشكل اساسي مع الاحماض العضوية والاحماض الامينية في اللحاء.

- **تراكيز النيكل في الترب:**

النيكل الكلي مقياس جيد للنيكل الجاهز. عند $pH > 6.7$ معظم النيكل يتواجد بشكل هيدروكسيدات صعبة الذوبان، بينما عند pH اقل من 6.5 معظم المركبات النيكل نسبياً ذائبة. الترب التي تعاني فعلاً من نقص النيكل لم تشخص لحد اليوم؛ مع هذا، نقص النيكل يمكن ان يحدث نتيجةً استعمال الايونات المنافسة مثل Zn، Cu، Mg وظروف نمو غير ملائمة.

متطلبات النبات من النيكل اقل من 0.05 ملغم.كغم$^{-1}$ وزن جاف وهو الاقل بين كل المغذيات الصغرى الاساسية. ومع ان عدة تحليلات للنيكل تم تنفيذه

الا انه لم يمكن تسجيل مستوى اقل من 0.2 ملغم.كغم$^{-1}$ وزن جاف في الحقل. النيكل يمكن ان يجهز بالايداع من الهواء الجوي بمستويات تتجاوز المزال من قبل المحصول من الحقل. ان احتمالية وجود ترب تعاني من نقص النيكل قائمة، ومع هذا، لايمكن اهمالها بسبب ان نقاوة الاسمدة تحسنت، استعمال اليوريا في تزايد والترسبات من الجو للمواد الملوثة بالنيكل في نقصان.

النيكل هو المغذي الاخير الذي شخص بأنه ضروري لنمو النباتات في المختبر والحقل وتم تأسيس متطلبات مطلقة لسماد النيكل تحت الظروف الحقلية في الانواع المعمرة النامية في الجنوب الشرقي للولايات المتحدة الاميركية.

للنيكل تأثير مهم في انتاجية النباتات النامية بالحقول المثبتة للنتروجين، وتلك التي فيها ureides (اليوريا) جزء مهم من النتروجين والتي تستعمل اليوريا مصدراً رئيسياً للنتروجين. علامات نقص النيكل لوحظت على الشعير والحنطة والشوفان وهي بثبات وفي الاتجاه نفسه مع الملاحظات حول الحيوانات التي تعاني من نقص Ni ودليلاً على دور النيكل في التمثيل الحيوي للنتروجين التي لايمكن توضيحه بمجرد الدور المهم والحصري للنيكل مع انزيم اليوريز. هذه مع ادوار النيكل المعروف في البكتريا تقترح ان النيكل من الممكن ان يلعب دور مهم في عدد من العمليات التي لحد الآن لم تكتشف في النباتات.

10.8 العناصر المفيدة:

1.10.8 الكوبلت Cobalt

الكوبلت معروف منذ زمن طويل أنه اساسي من المغذيات الصغرى للحيوانات والبشر، حيث أنه يشكل جزءا من فيتامين (B_{12}). ومع ذلك، فإن وجوده ووظيفته لم يسجل بالقدر نفسه في النباتات الراقية كما هو لحال في الحيوانات. الدور الفسيولوجي الوحيد والاكيد للكوبلت في النباتات العليا المؤكد هو في تثبيت النتروجين من النباتات البقولية.

- **النباتات الراقية:**

بشكل عام لم يعرف الكوبلت وبشكل قاطع اساسي للنباتات الراقية. اذ ان فيتامينB_{12} لاينتج ولايمتص من قبل النباتات الراقية. هذا الفيتامين يصنع من قبل بكتريا التربة واحياء الامعاء والطحالب. في المناطق الغنية بشكل طبيعي بالكوبلت فان الكوبلت يتراكم في بعض انواع النباتات. نبات مثل (Astragalus spp.L.) يمكن ان يراكم 2 او 3 الى 100 ملغم كغم$^{-1}$ وزن جاف للنبات. الكوبلت يتواجد بتراكيز عالية في الاجزاء التكاثرية في الـLilium longifolium Thunb والتي لم يعثر عليه في ازهار الفاصولياء الخضراء (Phaseolus sativus L.) والفجل مع ان اوراق الفجل احتوت على الكوبلت. كما لوحظ ان الكوبلت يتواجد في النباتات الورقية مثل الخس واللهانة والسبانغ (اعلى من 6.0 جزء بالمليون). الرز يحوي 0.02 – 0.15 ملغم كغم$^{-1}$ وزن للنبات. كلوريد الكوبلت ادى الى زيادة استطالة البزاليا عند تجهيزها بحامض الاندول استك اسد (IAA) والسكروز ولكن الاستطالة توقفت عند اضافة خلات الكوبلت.الكوبلت على صورة فيتامينB_{12} ضروري لنمو الانسجة المقطعة لجذور (spruce (Picea glauca Voss.) المنمى خارج الجسم in vitro. اذ يبدو انه يزيد المعدل الظاهري لتمثيل البيروكسيدات ويمنع التحطيم البيروكسيدي للـ (IAA). الكوبلت يوازن التثبيط بالداي نايتروفينولDNP في الفسفرة التأكسدية ويقلل من نشاط الـATPase ومنشط لإنزيمات النبات مثل الكاربوكسليزcarboxylases والببتايديزpeptidas .

يتواجد الكوبلت في اجزاء النبات في الترتيب المتزايد: الجذور، الاوراق، البذور، والسيقان. خلال التزهير كمية كبيرة انتقلت الى الدرنات للبطاطا وفي حالة الفاصولياء الى الازهار تبعت بالعقد الجذرية والجذور والاوراق والسيقان. الحركة اكثر سرعة في اتجاه الانحدار بالقياس الى اتجاه الصعود. كما لوحظ ان محتوى الكوبلت كان اعلى في الخيار المخلل (Cucumis sativus L.) من الثمار الطازجة. في حبوب الترمس والحنطة التراكيز اختلفت مع كمية الامطار الساقطة ونوع التربة.

2.10.8 السليكون Silicon:

ابتداءً من 1840 بينت عدة تجارب في المختبرات والبيوت الزجاجية وتجارب حقلية فوائد إضافة أسمدة السليكون للرز والذرة الصفراء والحنطة والشعير والبنجر السكري. أسمدة السليكون لها تأثير مزدوج في نظام التربة – النبات. الأول هو تحسين تغذية النبات بالسليكون وتقوية صفات النبات الوقائية ضد الأمراض وهجوم الحشرات والظروف الجوية غير المناسبة. ثانياً، معاملة التربة مع مواد سليكونية منشطة وفعالة حيوياً وجيوكيميائياً تنظم خصوبة التربة من خلال تحسين الخواص المائية والفيزيائية والكيميائية للتربة والمحافظة على المغذيات بصورة جاهزة للامتصاص من قبل النبات.

في القرنين التاسع عشر والعشرين، تم قياس التكوين المعدني للنباتات واشارت البيانات الى ان النباتات عادةً تحوي السليكون وبكميات تتجاوز عناصر اخرى. بينت تجارب حقلية ابتداءً منذ عام 1856 ولحد اليوم في محطة روذامستد الانكليزية Rothamsted Station (المملكة المتحدة) وجود تأثيرات مهمة لسليكات الصوديوم في إنتاجية الحشائش. علماء الزراعة اليابانيون يبدوا إنهم الأكثر تقدماً في الجزء التطبيقي أو الاستعمال التطبيقي لأسمدة السليكون بسبب عملهم على تطوير تقنية كاملة لاستعمال أسمدة السليكون للرز في الخمسينات والستينات من القرن الماضي. دراسات أخرى حول تأثيرات السليكون في النباتات نفذت في فرنسا، ألمانيا، روسيا، الولايات المتحدة الأميركية وبعض الأقطار الأخرى.

- **امتصاص النباتات للسليكون:-**

تحاليل الأنسجة لنباتات مختلفة بينت إن تراكيز السليكون تتراوح بين 1– 100 ملغم سليكون كغم$^{-1}$ وزن جاف، اعتماداً على النوع النباتي ومقارنة هذه الأرقام مع قيم المغذيات الأخرى كالفسفور والنتروجين والكالسيوم وعناصر أخرى بينت إن السليكون موجود بكميات مكافئة للمغذيات الكبرى.

السليكون يمكن ان يقلل من اجهاد الملوحة في النباتات الراقية. هناك عدة فرضيات لهذا التاثير. وهي:

أ. تحسين في نشاط البناء الضوئي

ب. تحسين في النسبة الاختيارية للبوتاسيوم الى الصوديوم.

ج. زيادة نشاط الانزيمات.

د. زيادة تركيز المواد الذائبة في الخشب يؤدي الى تقليل امتصاص الصوديوم من قبل النباتات. التغذية والتسميد الجيد والمنظم للسليكون يمكن ان يزيد من مقاومة الصقيع من قبل النباتات.

السليكون يلعب دوراً مهماً في تكوين الـ (القشور) hulls في الرز وبالتالي يبدو انه يؤثر في نوعية الحبوب. حبوب الشعير المحصودة من مساحة مسمدة بالسليكون امتلكت قابلية افضل للانبات مقارنةً بالبذور من تربة فقيرة بالسليكون الجاهز للنبات. تغذية ضعيفة بالسليكون امتكلت تاثير سلبي على الطماطة في مرحلة التزهير. من المهم ملاحظة ان اضافة سماد السليكون سرعت من نمو الحمضيات بحدود 30 – 80 ٪، مسرعةً من نضج الثمار بحدود 2 – 4 اسبوع وتحسن في نوعية الثمار. تسريع مماثل في نضج النبات نتيجةً للتسميد بالسليكون لوحظ مع الذرة الصفراء.

- اسمدة السليكون:-

مع ان السليكون عنصر متوفر بشكل كبير، ولكن لاي مادة لكي تكون مفيدة كسماد فانها يجب ان تحوي كمية عالية من السليكون، تجهز كمية كافية من السليكون الذائب بالماء لملاقات احتياجات النبات ويجب ان تكون الكلفة جيدة وفعالة، ويمتلك طبيعة فيزيائية تجعله جيداً في الخزن والاضافة ولا يحوي مواد تلوث التربة. عدة مصادر جيدة توفي بالمتطلب الاول ومع هذا هناك مصادر قليلة توفي بكافة المتطلبات. بقايا المحاصيل لاسيما بالنسبة للنباتات المراكمة للسليكون مثل

الرز تستعمل مصادراً للسليكون بشكل مقصود او غير مقصود. وعند توفرها، يجب عدم اهمالها مصدراً للسليكون. مع هذا، متطلبات المحاصيل من السليكون المضاف بشكل سماد عموماً يتجاوز التي تستطيع بقايا النبات تجهيزه.

سليكات الكالسيوم عموماً التي يحصل عليها كناتج ثانوي لعملية صناعية (انتاج الحديد والفوسفات مثلاً) هي المصادر الاكثر استعمالاً مصادراً للسليكون.

3.10.8 الصوديوم Sodium

الصوديوم في الترب والماء:-

الصوديوم والبوتاسيوم كونهما عنصران متجاوران في الجدول الدوري في مجموعة 1، تمتلك صفات كيميائية متشابهة. في حيوية الاحياء العليا، مع هذا، هذان العنصران لهما دوران مختلفان وتعامل بشكل مختلف جداً بميكانيكيات مشتركة في مدى نقل قصير وطويل. تقديرات النسب المئوية للصوديوم والبوتاسيوم في القشرة الارضية تختلف بين 2.5 الى 3 ٪ (وزناً) مع نسبياً صوديوم اكثر من البوتاسيوم، وهذه التراكيز تقارب تراكيز الكالسيوم والمغنيسيوم.

معظم الصوديوم موجود في ماء البحر الى مستوى 30.6 ٪ (وزناً) مقارنة مع 1.1 ٪ بوتاسيوم و1.2 ٪ للكالسيوم فقط. الكلوريد مع انه موجود فقط عند 0.05 ٪ في القشرة الارضية، فانه يشكل حوالي 55 ٪ من كتلة املاح ماء البحر. للبشر ولمعظم الحيوانات، المحاليل الفسلجية مسيطر عليها بالصوديوم حوالي0.8٪ (v/w) مقارنةً مع 0.02 ٪ للبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكلور (0.9 ٪) وكلا العنصرين اساسيين للحيوانات. لذلك عندما نفكر بالصوديوم يُفكّر اولاً بالملح الاعتيادي الشائع وهو ملح الطعام NaCl.

في الترب الوضع اكثر تعقيداً من المحاليل ككل، وتراكيز الايونات الموجبة (الكاتيونات) قرب جذور النباتات تتاثر بعمليات التبادل الايوني، الانتشار

والجريان الكتلي. التاثير الازموزي للملح الزائد ايضاً يتاثر يالكمية ونسب الايونات الموجبة والسالبة (الكاتيونات والانيونات).

يوجد بعض الصوديوم في معظم الترب، لكن في المناخات المعتدلة، التراكيز غالباً تشابه او اقل من تلك للبوتاسيوم. الكميات الزائدة من الصوديوم من المحتمل ان تتواجد في التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة وعندما يكون التبخر – نتح ET مشابه او اعلى من الامطار... الزيادة يمكن ان تكون بشكل تراكيز عالية لايونات الصوديوم في المحلول وعادةً ترافق بالكلوريد او الكبريتات (الترب الملحية)، وعندما يكون الصوديوم الايون الموجب الرئيسي المرتبط مع مواقع التبادل (تتكون الترب الصودية او القلوية التي تكون نفاذيتها واطئة جداً.

هل يمكن اعتبار الصوديوم عنصراً اساسياً:-

هناك عدم يقين او شك حول حالة الصوديوم كمغذٍ ضروري او اساسي للنبات، لاسيما لما له علاقة بتعريف الاساسية. المواصفة الاصلية لـ Aron and Stout والتي فيها ان العنصر المغذي الاساسي يجب ان يكون اساسي لاكمال دورة الحياة ويجب ان لا يستبدل بمغذيات اخرى او عناصر اخرى ويجب ان يشترك مباشرةً في الايض النباتي. الصوديوم هنا يفشل في ملاقاة المواصفات الثلاث لمعظم النباتات ولذا عدَ مغذٍ مفيد. فقط نباتات قليلة تمتلك صعوبة معينة لاكمال دورة حياتها في غياب الصوديوم، وهذه تتضمن انواع من النباتات الملحية وبعض نباتات C_4. الفعل الازموزي للايونات الموجبة في فجوات النبات النامية في الملوحة الواطئة يمكن ان ينجز الى درجة معينة باي من الايونات الموجبة الشائعة. بشكل خاص، العناصر الاحادية الشحنة القاعدية تستطيع ان تقوم بدور مشابه في توليد ضغوط ازموزية للمذاب والانتفاخية.

لذلك تم اقتراح المصطلح "المغذي الوظيفي"functional nutrient" للصوديوم وبالطبع للسليكون والسلينيوم. ومن الممكن تطبيقه على بعض العناصر الارضية النادرة (النزرة) التي تشجع نمو النبات تحت ظروف معينة.

التاثيرات المفيدة:-

- تحفيز النمو:

النباتات الملحية: استجابة الهالوفايتات والكلايكوفاتايتات halophytes and glycophytes للملوحة تم توثيقه في العديد من المراجع واحد الاتجاهات لإستجابة النباتات الملحية ولاسيما العصارية منها وبشكل شائع العائلة الرمرامية (Chenopodiaceae)، وهو التحمل العالي لهذه النباتات للملوحة.

التداخل مع المغذيات الاخرى:-

دور البوتاسيوم في توليد وإحداث الانتفاخ يمكن ان يعَوّض بالصوديوم والى درجة معينة بالكالسيوم والمغنيسيوم، لاسيما تحت تركيز واطيء من البوتاسيوم. المدى الذي يستطيع به الصوديوم التعويض عن البوتاسيوم في الاجزاء القابلة للأكل للمحاصيل تختلف من 1٪ في الحنطة والرز الى 90٪ في الشوندر (Beta vulgaris L.)هذا مع العلم ان التداخل بين الايونات الموجبة على اساس ومعدل التراكم موضوع معقد.

الصوديوم في الاسمدة:-

إضافة الصوديوم الى عدة محاصيل لوحظ بانه يحفز النمو، لاسيما عندما يكون هناك نقص في البوتاسيوم. هذه الظاهرة وثقت بشكل متكرر مع العائلة الرمرامية (الشوندر والشلغم والبنجر السكري)، وفي مدى محاصيل اخرى متضمنة الاسبركس (Asparagus officinalis) والزوان الايطالي (Lolium multiflorum) والطماطة والبطاطا والجزر والكرفس والكتان.

هناك اهتمام خاص في اضافة اسمدة الصوديوم الى المحاصيل العلفية، لان الحيوانات تتطلب كميات كبيرة من الصوديوم. ابقار الحليب المرضعة تحتاج الى تراكيز صوديوم بحدود 2 غم Na كغم$^{-1}$ في الاوراق وإن اضافة اسمدة الصوديوم تحسن من نوعية المحاصيل العلفية وتجعلها اكثر قبولاً للحيوانات.

التاثيرات في نباتات C_4:-

الصوديوم اشير اليه بانه ضروري لنمو بعض الانواع الملحية مثل (Atriplex vesicaria Heward) في العائلة الرمرامية وهذا التأثير من الممكن ان يكون من خلال التاثير في امتصاص النترات وتمثيلها. الصوديوم يبدو بانه اساسي لنباتات الحشائش C_4 مثل (Paricum millaceum) و(P.coloranum) وحشيش الملح (Diytichlis spicata Green) ووجد بانه يحفز نمو الحشائش مثل حشيش الاهوار (Sporobolus virginicus Kunth) و(S.airoid Torv). هذا مع العلم انه ليس كل نباتات C4 تتطلب الصوديوم لعملية التمثيل الضوئي او لكي تنمو افضل عند وجوده.

سمية الصوديوم:-

سؤال مهم، متى وكيف ولماذا تكون الاملاح سامة للنباتات. السؤال فيما اذا كان الصوديوم او الكلوريد ايون سمي من الصعوبة اجابته في معظم النباتات، مع انه بالطبع، هذا الدور يعد غير مهم اذا كانت المشكلة بشكل رئيس ازموزية. السؤال متى يصبح الملح المعدني (بشكل رئيس كلوريد الصوديوم) سمي اجابته نوعاً ما اسهل، على الاقل في النظرية؛ تراكم الاملاح مطلوب في التنظيم الازموزي، ولكن بشكل عام يشوش الايض. اذا تجمعت الاملاح بكميات اعلى من التراكيز المطلوبة للتنظيم الازموزي لخلايا النباتات، من الممكن ان تصبح مثبطة الى الايض والنمو، مع ان هذا من المحتمل ان يعتمد على موقع الاملاح في داخل الخلايا.

4.10.8 الفانادیوم Vanadium "V":

يتواجد العنصر الانتقالي الفانادیوم بشكل عام في حالات اكسدة ثلاث هي 3+ و4+ و5+ وتكون الحالات 4+ و5+ هي السائدة في الظروف المؤكسدة في درجة تفاعل التربة pH الاعتيادية للتربة تحت درجة تفاعل pH 8. الفانادیوم مع بقية العناصر الثقيلة يتحرر نتيجةً للفعاليات البشرية وتركيزه في تزايد مستمر في البيئة.

المصدر الرئيس للفانادیوم في الترب هو من حرق الفحم ومايتبعه من الرماد المتطاير Fly ash والرماد السفلي Bottom ash. في عام 1988 هذا الرماد اضاف للتربة بحدود 11 الى 67×10^6 كغم فانديوم لكل سنة وتشكل حوالي 25 ٪ من الفانادیوم المضاف. المخلفات الزراعية ومخلفات الاغذية تسهم بحدود 3.2 الى 21×10^6 كغم فانديوم لكل سنة.

وفي دراسة حول المغذيات الصغرى في الاوراق الابرية لنوع من الصنوبريات (Abies alba Mill) في احد جبال اوربا الشرقية تواجد الفانادیوم بتراكيز عالية عندما كانت الصنوبريات بالقرب من مصانع الحديد وانبعث الى الجو خلال انتاج النحاس والنيكل والحديد والحديد الصلب وخلال حرق القمامة ومخلفات المجاري.

الفانادیوم لايتحرك بسهولة بالترب وفي دراسة لتربة رملية مزيجة انتقل جزء بسيط جداً من الفانادیوم المضاف الى تربة سطحية لعمق 7.5 سم الى الاسفل خلال 18 الى 30 شهراً وبقي بحدود 81٪ في منطقة الاضافة. الفانادیوم معروف في امكانية امتزازه على اكاسيد الحديد والالمنيوم في اجزاء الطين وبعض الفانادیوم يمكن ان يترسب بشكل $Fe(VO_3)_2$ وبعضه يثبت. الامتصاص والتجمع يتأثر بنوع التربة لأن مكونات التربة تؤثر في جاهزية الفانادیوم. عموماً يتجمع الفانادیوم في النباتات بكميات صغيرة جداً مقارنةً بكمية الفانادیوم الموجودة في التربة.

التركيز الذي يتواجد فيه الفاناديوم في النباتات عادةً بحدود 0.27 الى 4.2 ملغم كغم$^{-1}$ وزن جاف.عند المستويات الواطئة من الاضافة كان هناك تحفيزاً لنمو النبات ولكن عند مستويات اعلى من الاضافة كان سمياً لمعظم النباتات.

تحفيز النمو:

يعد الفاناديوم عنصراً من المغذيات الصغرى بالنسبة للطحلب الاخضر Scenedesmus obliquus Kützing خلال تجارب استخدمت فيها املاح حديد غير نقية للايفاء بمتطلبات الطحلب من الحديد، وكان من الصعب التاكد من متطلبات مماثلة في النباتات الراقية لصعوبة ازالة الفاناديوم بشكل كامل من وسط النمو(المحلول المغذي). ومع ان الفاناديت معروف بتثبيطه لضخ البروتونات التي تتم بوساطة الاي تي بيز في غشاء البلازما plasma membrane proton-pumping ATPases ، الا ان تراكيز نزرة يمكن ان يستفاد منها النبات في تجربة نمي فيها نبات الذرة الصفراء في وسط رملي فان تجهيز الفاناديوم زاد من انتاج الحبوب وهنا من الممكن ان يكون بسبب زيادة المساحة الورقية ولكن يمكن ان يكون بسبب تاثيرات فسلجية. اضافة الفاناديوم الى الطماطة (Lycopersicon esculentum Mill) عند تركيز 0.25 ملغم لتر$^{-1}$ في محلول مغذٍ زاد من ارتفاع النبات وعدد الاوراق والازهار وكتلة النبات بالقياس الى عدم التجهيز ومن الممكن ان يكون جزء من متطلبات الفاناديوم لاسيما في الطحالب على الاقل كبديل او معوّض عن الحديد غير الجاهز للطحلب وتجهيز الحديد بشكل جاهز يلغي هذه المتطلبات. وهنا من الممكن القول اذا كان الفاناديوم عنصراً مفيداً للنباتات الراقية فمن الممكن ان يكون كذلك عندما يعاني النبات نقص في الحديد والمغذيات الاخرى بشكل محدد للنمو فقط.

السمية:

اذا كان هناك بعض الشك حول مدى فائدة الفاناديوم الى النباتات الراقية فأنه لايوجد شك بان التراكيز العالية (10 – 20 م ملغم V لتر$^{-1}$) تكون مضرة ومؤذية للنبات، اذ انه عند تجهيز بادرات الذرة البيضاء (Sorghum bicolor) بالفاناديوم بشكل امونيوم ميتا فانديت عند تراكيز1 و10 و100 ملغم لتر$^{-1}$ في محاليل مغذية فان التركيز 1 ملغم لتر$^{-1}$ لم يكن ساماً ولكن مع تراكيز 10 ملغم لتر$^{-1}$ واعلى كان هناك احمرار في اسفل السيقان تبعت بقمم الاوراق ومع الفاصولياء المزروعة بعد 15 شهراً في تربة اضيف لها 5.6 كغم من $VSO_4.H_2O$. هـ$^{-1}$ وحصدت بعد ثلاثة شهور لوحظ ان نمو الاجزاء العليا والجذور كان وبشكل معنوي اقل من النباتات غير المسمدة.

ان احد اسباب التأثير المؤذي للفاناديوم هو التسبب بنقص الحديد وفضلاً عن احداث الاصفرار الناجم عن نقص الحديد فإن الفاناديوم يقلل تركيز الحديد تركيز المغنيسيوم والبوتاسيوم في جذور بعض النباتات. الفاناديوم ايضاً يقلل من تجمع المولبدنم في جذور وهايبوكتال الخردل الابيض (Sinapis alba L.) ويقلل من تركيز الكالسيوم في اوراق فول الصويا.

وهنا من الضروري التأكيد على ان تاثيرات الفاناديوم المضرة اذا ما ازدادت مع الزمن بفعل الفعاليات البشرية فمن المهم عمل اجراءات كفيلة بتقليلها وازالتها. تأثيرات الفاناديوم السلبية في التربة يمكن ان تقلل من خلال إضافة مادة خالبة مثل γ-irradiated chitosan، هذا، فضلاً عن انه من الممكن التوقع ولكون الفاناديوم يحفز نقص الحديد في النباتات، فإن زيادة تجهيز الحديد بشكل جيد من الممكن ان يزيل السمية، ويبدو ان الحالة هي بهذه الصورة.

5.10.8 السلينيوم Selenium (Se):

السلينيوم عنصر مفيد وهو احد العناصر المنتشرة بشكل واسع في الأرض وله معدل وفرة في التربة بحدود 0.09 ملغم. كغم$^{-1}$ تربة يصنف ضمن المجموعة الرابعة VI شبه المعدنية (الفلزية) في الجدول الدوري كمعدن يحتوي أو يملك صفات معدنية وغير معدنية.

ومع أن السلينيوم لم يعد لحد ألان عنصراً مغذياً أساسيا ضمن العناصر المغذية الصغرى ألا انه عنصر مفيد للنباتات وهو عنصر أساسي للحيوانات الثديية للمحافظة على صحتها. نقص السلينيوم أو سميته في الانسان والحيوان نادر الحدوث ولكن يمكن ان يحدث في ظروف وأماكن معينه بسبب المحتوى الواطئ للسلينيوم في الترب والمحاصيل المنتجة في هكذا ترب. حديثاً أعطي اهتمام للسلينيوم لدوره في تقليل عدد من الأمراض السرطانية والامراض الاخرى، ولذا فأن الجهود حول تحسين محتوى النبات من السلينيوم ترتبط بالمصادر الغذائية للبشر والحيوانات.

السلينيوم في النباتات:

السؤال هل ان السلينيوم هو احد العناصر المغذية الصغرى للنبات يعد موضوعاً غير منتهي لحد اليوم. السلينيوم لم يصنف عنصراً من العناصر الأساسية للنباتات ولكن دوره كعنصر مفيد لاسيما للنباتات القادرة على تجميعة وتراكمه يعد موضوعاً مهماً ويؤخذ بنظر الاعتبار.الأنواع النباتية غير القادرة على تراكم وتجميع السلينيوم تراكم أكثر من 25 ملغم Se كغم$^{-1}$ (وزن جاف). معظم أنواع المحاصيل مثل محاصيل الحبوب والحشائش والثمار والخضر وأنواع عديدة من الأدغال تعد مراكمة أو لها القدرة على تراكم السلينيوم. عموماً النباتات المراكمة أو المحبة للسلينيوم تستطيع تجميع ما مقداره 100 مرة ما تجمعه النباتات غير المراكمة عندما تزرع في التربة نفسها.

الامتصاص:-

السلينيوم يمكن ان يمتص من قبل النبات بشكل معدني SeO_4^{2-} أو SeO_3^{2-} أو بشكل مركبات سلينومية عضوية مثل السلينواميناسد وسلينومثيونين (SeMe) وبسبب التشابه الكبير بين السلينيوم والكبريت كيميائياً وفيزيائياً فان امتصاص السلينيوم من قبل النباتات تشابه امتصاص الكبريت الذي يمتص بشكل فعال من قبل النباتات وبشكل رئيسي بصورة الكبريتات SO_4^{2-} وعند تواجد السلينات بتراكيز عاليه تستطيع ان تنافس امتصاص الكبريتات.

زيادة مستويات السلينيوم في النباتات يمكن أن يؤدي إلى تقليل أو خفض تراكيز الانسجه من S, P, N, وكذلك عددا من العناصر الثقيلة لاسيما المنغنيز والزنك النحاس والحديد والكادميوم. هذا التأثير الايجابي للسلينيوم لأزاله السمية لوحظ من خلال تقليل تأثير الكادميوم على انقسام خلايا الثوم (Allium sativum). بالمقارنة أضافة S, P, N, معروفاً في دورها في تقليل وإزالة سمية السلينيوم هذا التأثير يكون أما من خلال تقليل امتصاص السلينيوم بوساطة جذور النباتات أو تأسيس نسبة ملائمة من السيلينيوم إلى العناصر الأخرى.

العلاج الحيوي او الاستصلاح بالنباتات PHYTOREMEDIATION:

من المشاكل التي هي في تزايد مع الزراعة المروية في المناطق الجافة وشبه الجافة هو ظهور السلينيوم في الترب والماء الأرضي ومياه البزل. الاهتمام الأعظم لتلوث السلينيوم يأتي في المناطق التي يكون فيها انظمة الماء تبزل أو تغسل الترب الحاوية على السلينيوم. قابلية النباتات على امتصاص وتراكم وتطاير السلينيوم لها تطبيقات مهمة وتأثيرات مهمة في العلاج الحيوي للسلينيوم من البيئة اذ ان العلاج الحيوي للسلينيوم من الترب الملوثة يكون افضل عملياً واقتصاديا من الإزالة الفيزيائية. النبات الأكثر مثالية للعلاج الحيوي يجب أن يملك القابلية للتأسيس السريع والنمو والقابلية على تجميع أو تطاير كميات كبيرة من السلينيوم

ويتحمل الملوحة والمستويات المرتفعة للبورون ويطور كميات كبيرة من ألكتلة الحية في الترب عالية السلينيوم مثل الخردل الهندي.

سمية السلينيوم للنباتات:

سمية السلينيوم تتأثر بنوع النبات ونوع وشكل السلينيوم في وسط النمو ووجود الايونات المنافسة مثل الكبريتات والفوسفات. من حسن الحظ انه لا توجد تقارير موثقة لسمية السلينيوم تحت الظروف الزراعية. النباتات الدالة على التسمم يمكن أن تجمع مستويات عالية من السلينيوم لمستوى أعلى من 10000 ملغم Seكغم$^{-1}$، ولكن لديها طرائق كيموحيوية لمقاومة وتجنب السمية. والتأثير السمي للسلينيوم في النباتات ينتج بشكل رئيسي من خلال تداخل السلينيوم مع تمثيل الكبريت.

جاهزية السلينيوم في الترب:

نسجه التربة يمكن أن تؤثر في جاهزية السلينيوم وامتصاصه بوساطة جذور النباتات. وبسبب الامتزاز لـ SeO_3^{2-} إلى أجزاء الطين في التربة فان النباتات النامية في الترب الرملية تمتص ضعف كمية السلينيوم الممتصة في الترب المزيجة. وان المادة العضوية لها القابلية على حجز السلينيوم من محلول التربة. عموما مستوى السلينيوم في النباتات يزداد مع زيادة مستوى السلينيوم في التربة ولكن ينقص مع إضافة الكبريتات وان استخلاص السلينيوم من التربة يزداد عندما يستعمل SO_4^{2-} في عمليات الغسل.

الصورة الكيميائية للسلينيوم في التربة تحدد من قبل pH التربة وجهد الاختزال ففي الترب القاعدية يتواجد السلينيوم بشكل SeO_4^{2-} الجاهز. عندما تصبح التربة متعادلة الى حامضية تتطور معقدات اكاسيد الحديد السلينومية واطئة الذوبان. وبما أن الإشكال واطئة الذوبان سائدة في الأوساط الحامضية، إضافة الكلس لرفع pH التربة سيساهم في زيادة جاهزية السلينيوم للنباتات.

السلينيوم يمكن ان يجهز للنبات من خلال الإضافة إلى الترب أو الرش على الأوراق أو معاملة البذور. اسمدة السلينيوم بطيئة التحرر كانت فعالة لمدة 4 سنوات عند مستوى سلينيوم ثابت في البرسيم (Trifolium subterraneum L) لمنع نقص السلينيوم في الأغنام في استراليا. استعمال نترات الكالسيوم الغنية بالسلينيوم زاد محتوى السلينيوم بشكل معنوي في الحنطة(Triticum aestivum L.). كذلك يجب الانتباه عند استعمال الأسمدة الفوسفاتية للترب لأنها تحوي كميات عالية من السلينيوم. عملية إدخال السلينيوم مع الأسمدة أصبح موضوعاً شائعاً في بعض الأقطار ذات محتوى التربة الواطئ من السلينيوم.

السلينيوم في تغذية الإنسان والحيوان:

دور السلينيوم في صحة الإنسان تأسس عام 1973 عندما ثبت أن السلينيوم أخر المغذيات الأربعين الذي ثبت أنها أساسية للإنسان، ولوحظ بأنه مكون للـ glutathione peroxidase الأنزيم الذي يحمي ضد ضرر الخلية التأكسدي. السماح اليومي في الولايات المتحدة الأمريكية للسلينيوم بحدود 50 إلى 70 مايكروغرام في غذاء (وجبة الإنسان).

تحفيز الجهاز المناعي، تقليل السرطان، وتقليل أمراض الأوعية القلبية كلها ارتبطت مع زيادة السلينيوم في الوجبة الغذائية.

نقص السلينيوم وسميته في البشر:-

معدل كمية السلينيوم الذي يستهلك من قبل الإنسان في معظم دول العالم كافٍ لملاقاة الكمية المسموحة من التوصية الأمريكية ونقص السلينيوم في البشر الاصحاء نادر الحدوث. مستوى السلينيوم في عدد من السكان يرتبط بشكل عالٍ مع محتوى السلينيوم للمحاصيل المنتجة محلياً. في مناطق العالم ذات الترب واطئة المحتوى من السلينيوم فان إضافة السلينيوم في أنظمة الأسمدة الاعتيادية يطبق لملاقاة أو تجاوز نقص السلينيوم في البشر والحيوانات. هناك علاقة عكسية

مهمة بين مستوى السلينيوم الواطئ وزيادة احتمالية الموت بالسرطان أسست في بعض الولايات أو المناطق الزراعية في الولايات المتحدة الأمريكية.

زيادة اخذ السلينيوم في الحيوانات والبشر تزيد من النشاطات المضادة لتكوين الاورام السرطانية، وإضافة السلينيوم للغذاء يؤدي إلى تقليل شدة عدد من الأمراض الفايروسية واشارت الأكاديمية الوطنية للعلوم الأمريكية USNAOS الى ان امتصاص واخذ السلينيوم إلى حدود 200 مايكروغرام يوم$^{-1}$ يكون أمينا ومع هذا، الاستمرار على اخذ مستوى سلينيوم بما يتجاوز 750 مايكروغرام يوم$^{-1}$ يمكن أن يؤدي إلى سمية بالسلينيوم.

مصادر مهمة:

- Agarwala, S.C., P.N, Sharma., C, Chatterjee., and C.P, Sharma. 1981 Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. J. Plant Nutr. 3: 329-336.
- Ali,N.S.;J.K.Al-Uqaili and Al-Ameri, B.H..2001. Efficiency of some Zinc Fertilizers in Calcareous Soil. Iraqi J. Agriculture Science. 32(6):197-204.
- Alloway,B.J. and Ayres,D.C.1997.Chemical principles of environmental pollution.2nd edition.London:blackie Academic & Professional.
- Atti, A. S. and Nooruldeen S. Ali.2011. The Effect of Boron Fertilization on Faba bean (Vicia faba L) yield, Fertilizer and Water Productivity. International Conference for Agriculture and Natural resources. Babylon University.4-5/10/2011.
- Castrup, B.V., S Steiger., V, Luttge., and E, Fischer-Schliebs. 1996. Regulatory effects on Zinc on corn root plasma membrane H^+-ATPase. New Phytol. 134: 61-73.
- Goldbach, H.E. 1997. A critical review on current hypotheses concerning the role of boron in higher plants: suggestions for further research and methodological requirements. J. Trace and Microprobe Tech., 15(1): 51-91.
- Gorham, J. .2008. Sodium. In Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
- Gupta, U.C. 1993. Deficiency and toxicity symptoms of boron in plants. In Boron and its role in crop production. Edited by Gupta, U.C. pp.147-155. CRC Press, Boca. Raton, Florida.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D.2005.Soil Fertility and Fertilizers, 5th Edition's. USA.

- Hu, H., and P.H, Brown. 1994. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Plant Physiol. 105: 681-689.
- Kopsell, D.A. and David E. Kopsell.2008.Selenium. In Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group
- Motvedt, J.; P.M. Giordano and W.L. Lindsay. 1972. Micronutrients in Agriculture.Soil SC. Soc. Am. Madison, WI, USA.
- Mozafar, A. 1993. Role of boron in seed production. In: U.C. Gupta, ed. Boron and its Role in Crop Production. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 187–208.
- Mozafar, A. 1987. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (Zea mays L.) hybrids. J. Plant Nutr. 10: 319-332.
- Perk,M.V.D.2006.Soil and Water Contamination.Taylor & Francis.London.
- Pilbeam,D.J. and Khaled Drihem.2008. Vanadium. In Barker, A.V. & Pilbeam, D.J.(Ed)" Handbook of Plant Nutrition". CRC Taylor & Francis Group.
- Reisenauer, H.M., L.M, Walsh., and R.G, Hoeft. 1973. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine. In Soil testing and plant analysis. Edited by Walsh, L.M. and Beaton, J.O. pp.173. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Sharma, P. N., C, Chatterjee, S. C, Agarwala and C. P, Sharma. 1990. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (Zea mays). Plant and Soil. 124:221-225.
- Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and the Nutrient Status of Soils: A Global Study, FAO Soils Bulletin No. 48, FAO, Rome.
- Sillanpaa, M. 1990. Micronutrient Assessment at Country Level: An International Study.FAO Soils Bulletin No. 63, FAO, Rome

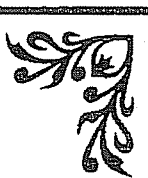
- Srivastava, P.C., and U.C, Gupta, 1996. Essential trace elements in crop production. In: P.C. Srivastava, U.C. Gupta, eds. Trace Elements in Crop Production. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Cop. Pvt. Ltd., pp. 73–173.
- Welch, R.M., M.J, Webb. and J.F, Loneragan. 1982. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In Plant Nutrition 1982. Proceeding of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium, Ed. A. Scaife. Pp. 710-715. Warwick University, England.
- التميمي، هيفاء جاسم.1997. السلوك الكيميائي لأسمدة المغذيات الصغرى المخلبية المصنعة من الحوامض الدبالية والشائعة وكفاءتها في بعض الترب الكلسية – اطروحة دكتوراه – جامعة البصرة.
- حسين، مها علي.2011. تأثير الرش ببعض المغذيات في النمو والحياتية الزهرية والحاصل المبكر والكلي للباقلاء.رسالة ماجستير. كلية الزراعة – جامعة بغداد.125 صفحة.
- الجدوع،عبدالكريم.1990. حالة الزنك والنحاس والمنغنيز والحديد في بعض الترب العراقية. اطروحة دكتوراه.كلية الزراعة – جامعة بغدد.
- الدجيلي، جبار وحمدالله سليمان راهي ونورالدين شوقي علي. 1994. تأثير الرش بالمغذيات الصغرى في حاصل العنب –صنف ديس العنز. المجلة العراقية للعلوم الزراعية. 1994
- صديق، عصام عبدالستار ومظفر احمد داؤد ومحمد عل جمال.1989. توزيع العناصر الصغرى الجاهزة في الترب الكلسية لشمال العراق. ندوة العناصر المغذية الصغرى الخامسة. ملخصات البحوث. القاهرة – الاسماعيلية 1989/12/16. ص7.
- الصميدعي، ليث جبير.2011. تأثير مستوى ومصدر الزنك وطريقة اضافته في نمو وحاصل زهرة الشمس المزروعة في تربة صحراوية. رسالة ماجستير.كلية الزراعة – جامعة الانبار. 114 صفحة.

- Srivastava, P.C., and U.C, Gupta, 1996. Essential trace elements in crop production. In: P.C. Srivastava, U.C. Gupta, eds. Trace Elements in Crop Production. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Cop. Pvt. Ltd., pp. 73–173.
- Welch, R.M., M.J, Webb. and J.F, Loneragan. 1982. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In Plant Nutrition 1982. Proceeding of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium, Ed. A. Scaife. Pp. 710-715. Warwick University, England.
- التميمي، هيفاء جاسم.1997. السلوك الكيميائي لأسمدة المغذيات الصغرى المخلبية المصنعة من الحوامض الدبالية والشائعة وكفاءتها في بعض الترب الكلسية – اطروحة دكتوراه – جامعة البصرة.
- حسين، مها علي.2011. تأثير الرش ببعض المغذيات في النمو والحياتية الزهرية والحاصل المبكر والكلي للباقلاء.رسالة ماجستير. كلية الزراعة – جامعة بغداد.125 صفحة.
- الجدوع،عبدالكريم.1990.حالة الزنك والنحاس والمنغنيز والحديد في بعض الترب العراقية. اطروحة دكتوراه.كلية الزراعة – جامعة بغدد.
- الدجيلي، جبار وحمدالله سليمان راهي ونورالدين شوقي علي. 1994. تأثير الرش بالمغذيات الصغرى في حاصل العنب –صنف ديس العنز. المجلة العراقية للعلوم الزراعية. 1994
- صديق، عصام عبدالستار ومظفر احمد داؤد ومحمد عل جمال.1989.توزيع العناصر الصغرى الجاهزة في الترب الكلسية لشمال العراق. ندوة العناصر المغذية الصغرى الخامسة. ملخصات البحوث. القاهرة – الاسماعيلية 1989/12/16. ص7.
- الصميدعي، ليث جبير.2011. تأثير مستوى ومصدر الزنك وطريقة اضافته في نمو وحاصل زهرة الشمس المزروعة في تربة صحراوية. رسالة ماجستير.كلية الزراعة – جامعة الانبار. 114 صفحة.

الفصل التاسع

العناصر المغذية واستعمال المياه والتداخلات الأخرى

Plant Nutrient, Water Use, and other Interactions



- التداخل بين الماء والعناصر المغذية للنبات
- كفاءة استعمال المياه
- خصوبة التربة الجيدة والتسميد وإمتصاص الجذور للماء
- اهمية المستوى الخصوبي الجيد وعلاقته باستعمال كفوء للمياه ومقاومة المحصول لنقص الماء
- مستوى رطوبة التربة وامتصاص العناصر المغذية
- التداخلات بين المغذيات
- التداخل بين المغذيات والكثافة الزراعية
- المصادر



الفصل التاسع

العناصر المغذية واستعمال المياه والتداخلات الأخرى

Plant Nutrient, Water Use, and other Interactions

عندما يتداخل عاملان من عوامل النمو فان تأثير احدهما سيتأثر بالاخر. هذا التأثير اما ان يكون ايجابي او سلبي او من دون تأثير. التأثير او التداخل السلبي يحدث عندما تكون استجابة النبات الى العوامل المركبة(عاملين او اكثر) اقل من الاستجابة لهذين العاملين اذا ما اضيفت بشكل منفرد او منفصل (بتعبير اخر الاستجابة للعاملين مجتمعة اقل من مجموع الاستجابة لاضافة كل عامل بشكل منفصل). التداخل الايجابي يتبع قانون الحد الادنى للعالم ليبك "Liebig's Law of the minimum " او قانون العامل المحدد "Limiting law" او العامل المحدد "Limiting Factor" الذي ينص "إذا وجد عاملان محددان للنمو فان اضافة احدهما سيكون له تأثير قليل في النمو بينما الاستجابة والانتاج ستكون اعظم عند اضافة كلا العاملين سوية". وعند النقص الشديد لعنصرين غذائيين او اكثر فان الاستجابة للمغذيات ستكون بتداخلات معنوية قوية.

التداخل بين الماء والعناصر المغذية للنبات:-

الإجهاد المائي يكون من اكثر العوامل المحددة للنمو حتى في بعض المناطق التي يكون فيها التساقط (الامطار...) اعلى من الاستهلاك المائي (التبخر – النتحET) فإن هناك اجهادات اخرى ناتجة عن نقص العناصر المغذية او الحشرات او الادغال تؤثر في كفاءة استعمال المياه من قبل النبات وهذا سيؤثر في الانتاجية والربحية.

وبسبب التزايد على طلب المياه للإستعمالات المدنية والحضرية غير الزراعية وبسبب شحة تجهيز او توافر المياه في العديد من الدول يصبح موضوع كفاءة استعمال المياه، كمية المياه المستعملة لانتاج محصول ما (تراجع التعاريف

في نهاية الكتاب) من التحديات المهمة والرئيسة في الزراعة (CSA، 2011). وعموماً فان أي عامل يحسن ويزيد الانتاج سيؤثر في كفاءة استعمال المياه.

كفاءة استعمال المياه: Water Use Efficiency

تمثل إنتاج المحصول لكل وحدة مياه مستعملة من التربة (الامطار والري) ولذا يطلق عليها انتاجية المياه Water productivity وهذه الكفاءة تختلف حسب المحصول والادارة المستخدمة ومن ثم اي ادارة جيدة تزيد وتعظم من الانتاج ستزيد من كفاءة استعمال المياه. هذا فضلاً عن ان إتباع الري غير التقليدي (الحديث) المكنن لاسيما الري بالتنقيط سيوفر كمية من المياه ومن ثم سيزيد من كفاءة استعمال المياه ايضاً (الجوذري، 2011).

ومع إن استعمال الري المنظم يجعل الانتاج اكثر استقراراً الا ان الانتاج يمكن ان يبقى محدداً بعوامل أخرى. وهنا ببساطة اذا تضاعفت طاقة الانتاج مع الري يزداد الطلب على المغذيات وتكون الحاجة قائمة لإضافة الاسمدة بانواعها المختلفة. هذا فضلاً عن ان توافر عناصر مغذية وبشكل مثالي يؤدي الى كفاءة استعمال مياه افضل لاسيما عند اضافة الاسمدة البوتاسية بكميات مناسبه (علي ومحمد 2003 وعلي واخرون 2009) او التسميد المشترك المعدني والعضوي والحيوي (الجوذري وعلي ، 2011).

خصوبة التربة الجيدة والتسميد وإمتصاص الجذور للماء:-

إن معظم الماء المستعمل من قبل الجذور يكون من الطبقة السطحية للترب مقارنة بالذي يمتص من الطبقة تحت السطحية. ولكن عند استنزاف الماء الجاهز في الطبقة السطحية فان جذور النباتات يجب ان تأخذ الماء من الطبقة تحت السطحية وهذا يكون افضل مع التسميد الجيد الذي يزيد من العمق الفعال للجذور (العمق الذي تستطيع الجذور ان تمتص الماء منه) ومن ثم يستطيع

المحصول مقاومة الجفاف بشكل افضل. ومع هذا يجب ان يكون هناك ماء تحت سطحي والا فان التسميد سيكون هنا بدون فائدة.

اهمية المستوى الخصوبي الجيد وعلاقته باستعمال كفوء للمياه ومقاومة المحصول لنقص الماء يمكن ان تتلخص بالنقاط الأتية:-

- زيادة الرطوبة المتوافرة ستؤثر في حركة وانتقال المغذيات ولاسيما الفسفور والبوتاسيوم التي تتحرك بالانتشار بشكل رئيس والتي تؤثر الرطوبة في حركتها بشكل مباشر.
- الرطوبة الكافية لها تأثيراتها الفسيولوجية في الجذور وقابليتها في امتصاص المغذيات.
- اضافة البوتاسيوم وتوافره في التربة بشكل جاهز سيزيد من قابلية النبات على تنظيم امتصاص المياه وزيادة كفاءة الامتصاص والاستهلاك المائي نتيجة لتنظيم فتح وغلق الثغور ودور البوتاسيوم الفسيولوجي التنظيمي في النبات (يراجع الفصل الخامس).
- توافر المغذيات بشكل مثالي سيساعد في نمو غطاء خضري جيد وسريع وهذا الغطاء سيقلل من فقدان الماء عن طريق التبخر من سطح التربة ويزيد من جاهزية الماء. كما ان زيادة النمو الخضري وزيادة الانتاج وزيادة كثافة الجذور سيحسن من غيض الماء بالتربة وتحسين الصفات المائية للتربة.
- جاهزية مغذيات جيدة ومتوازنة ونمو جيد سيسرع من النضج وسيوفر من المياه ويؤدي الى تقليص مدة بقاء المحصول في الحقل واحيانا يتم ملئ الحبوب قبل مدة الصيف الحار والذي سيمكّن من تجاوز التأثير السلبي في الإزهار وتكوين الثمار وملئ الحبوب لاسيما في محصول الذرة الصفراء (العروة الربيعية) التي يتأثر انتاجه بسبب ارتفاع درجات الحرارة في وقت ملئ الحبوب (Ali وآخرون، 2008).

مستوى رطوبة التربة وامتصاص العناصر المغذية:

الماء أساسي لامتصاص المغذيات من خلال تأثيره في كافة عمليات نقل المغذيات وانتشارها ونمو الجذور وعملية النقل بالجريان الكتلي او بالانتشار. عند توافر رطوبة جيدة فان الجذور ستكون منتشرة بشكل جيد وبعمق جيد يزيد من اسطح التماس مع التربة وامتصاص المغذيات سيكون افضل ولا سيما الكالسيوم والمغنيسيوم. الجريان الكتلي لماء التربة او حركة المغذيات مع حركة الماء او ما يسمى بتدفق النتح او الحركة نتيجة النتح يتم من خلاله انتقال النترات والكبريتات والكالسيوم او المغنيسيوم الى الجذور. ومع الانتشار تنتقل المغذيات من المناطق ذات التركيز العالي الى المناطق ذات التركيز الواطئ ولكن بمسافة لا تتجاوز 5 ملمتر، وهنا معدل الانتشار يعتمد بشكل رئيس على توافر الرطوبة. ولذلك فإن وجود اغشية مائية او اغلفة مائية سميكة او مع تراكيز مغذيات اعلى تتحرك المغذيات عن طريق الانتشار بشكل افضل. كما ان امتصاص المغذيات يتأثر بشكل غير مباشر نتيجة لتأثير المحتوى الرطوبي في فسلجة النبات بشكل عام وكذلك في تهوية التربة وتركيز الاملاح فيها.

في ترب الأراضي الجافة وشبه الجافة (Dry land) والتي يعد نقص الماء هو العامل الاكثر تحديدا للإنتاج كان نظام المحصول الواحد لدورة زراعية زراعة – بور (ترك الارض بدون زراعة) هو المستعمل إلا أن الدراسات أثبتت أن الزراعة الكثيفة مع تبني تقانات زراعية لاسيما انظمة الحراثة الدنيا (Minimum Tillage او Zero Tillage) ستعطي إنتاج ومحصول أعلى بكثير وزيادة في كفاءة استهلاك المياه بشكل واضح. والرطوبة تتداخل بشكل كبير مع ذوبانية المنغنيز والحديد اللذان يتحولان من الشكل المؤكسد الى الشكل المختزل في ظروف التهوية القليلة مما يزيد من الصورة الذائبة.

وفي الترب المروية تكون التداخلات متشابهة كما تم ذكره انفا إلا ان هذه التداخلات هنا تعمل في مستويات الانتاج العالية. تحت هذه الظروف يصبح التسميد عاملاً مهماً لان الرطوبة يمكن السيطرة عليها ولاسيما عند تبني تقانات الري الحديثة ومن ثم فأن إضافة السماد سيكون له التأثير الكبير والمهم في

الانتاجية. وبشكل عام الاستجابة لاضافة N من قبل المحصول تكون اعلى وافضل عندما يكون توافر الماء بشكل جيد (Havlin وآخرون،2005).

التداخلات بين المغذيات:-

التداخلات بين K – N، P – N تلاحظ بشكل شائع وموضوع العامل المحدد للنمو يكون ذا تأثير كبير في هذه الحالة. فعندما يكون الانتاج محدود من الممكن ان لا يكون البوتاسيوم في الترب الجافة مثلا عاملاً محدداً، الا ان استعمال اصناف عالية الانتاج وتسميد N ، P عالٍ سيؤدي الى ضرورة اضافة البوتاسيوم والا سيكون عاملا محددا للإنتاج. وهنا يلاحظ انه عند اضافة 30 كغم N هـ$^{-1}$ كانت الاستجابة قليلة لاضافة البوتاسيوم ولكن عند اضافة 90 كغم N هـ$^{-1}$ الاستجابة للبوتاسيوم كانت خطية حتى مع المستويات العالية المستعملة.

التداخلات مع المغذيات الصغرى يمكن ان تكون كبيرة جدا، ففي الترب واطئة الفسفور والزنك فان اضافة P او Zn بشكل منفصل قلل من انتاج الذرة الصفراء الا انه عند اضافة كلا العنصرين كان هناك تداخل ايجابي، ومع هذا هناك دراسات اخرى تبين وجود تداخل سلبي عند اضافة كميات عالية من الفسفور والزنك.

التداخل بين المغذيات والكثافة الزراعية:-

زيادة الكثافة النباتية (التي تعبر عن عدد النباتات في المساحة المعينة) لا يؤدي لوحده الى انتاج عالٍ بدون اضافة او توافر مغذيات كافية. وكذلك زيادة التسميد لوحده غير كاف ما لم تكن هناك زيادة في الكثافة النباتية. ومثال ذلك، عند 30000 نبات هـ$^{-1}$ فان زيادة N الى 270 كغم N هـ$^{-1}$ تنتج عنه زيادة معينة ولكن مع 90000 نبات هـ$^{-1}$ الزيادة كانت الى الضعف. ولمزيد من التفصيل في التداخل بين الكثافة النباتية والتسميد النتروجين يمكن الرجوع الى الحسن، (2011).

وبشكل عام أي تقنية حديثة تزيد من طاقة الانتاج تتطلب ان تكون هناك زيادة موازية في المغذيات المضافة كي يتم الحصول على التداخل او الربحية المطلوبة.

ترکے

المصادر:

- Ali , Nooruldeen S. ; Atee, A. S. and Alzubaidy,A.H.2008. Effect of NPK fertilization on yield of maize & potato Iraqi J. of Agric. Sc. 2008.39(1).138-
- Crop , Soils, Agronomy News.2011.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., and Beaton, J.D.2005.Soil Fertility and Fertilizers, 5th Edition's.USA.
- الجوذري، حياوي ويوه الجوذري.2011. تأثير مصادر الاسمدة المختلفة ومستوياتها وطرائق الري في انتاجية البطاطا. اطروحة دكتوراه.قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة– جامعة بغداد.
- الجوذري، حياوي ويوه الجوذري ونورالدين شوقي علي.2011. كفاءة استخدام المياه تحت التسميد المعدني والعضوي– الحيوي للبطاطا. مجلة العلوم الزراعية العراقية –42 عدد خاص:138– 149،2011.
- الحسن، محمد فوزي. 2011. فهم الية التفريع لعدد من اصناف الحنطة تحت تأثير النتروجين والكثافة النباتية. اطروحة دكتوراه – قسم علوم المحاصيل الحقلية– كلية الزراعة– جامعة بغداد.
- علي، نورالدين شوقي وقيس حسين السماك واحمد الزبيدي.2009. تأثير بعض اسمدة البوتاسيوم المضافة الى تربة رملية صحراوية تحت نظامي الري بالتنقيط والرش في كفاءتي استعمال السماد والمياه.مجلة جامعة كربلاء العلمية.عدد خاص 2009،54 –61.
- علي، نورالدين شوقي وحسين عزيز محمد.2003. بالفسفور والبوتاسيوم في حاصل الذرة الصفراء وكفاءة استعمال المياه.مجلة العلوم الزراعية العراقية 2003 العدد 1 المجلد 34:35–40.

الفصل العاشر

المادة العضوية للتربة

“SOM “Soil Organic Matter



- وظائف مادة التربة العضوية
- النشاط الفيزيائي
- الدور الكيميائي
- محتوى التربة من المادة العضوية وخصوبة التربة
- المخلفات العضوية
- التحلل
- المصادر



الفصل العاشر

المادة العضوية للتربة

"SOM "Soil Organic Matter

تلعب المادة العضوية للتربة دوراً مهماً في العمليات البيدوجينية وتستطيع بشكل كبير تحوير الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للتربة (البناء، اللدانة، الاحتفاظ بالماء، CEC وAEC).

وفي البداية من المناسب اعطاء بعض التعاريف ذات العلاقة بمادة التربة العضوية. اذا يمكن تعريف مادة التربة العضوية SOM بانها عبارة عن المجموع الكلي للمواد الطبيعية والمشتقة حيوياً والتي تتواجد بالتربة او على سطحها بغض النظر عن مصدرها او فيما اذا كان حية او ميته بعد استبعاد الجزء الحي من النبات فوق سطح التربة (Baldock & Nelson,2000). اما الكتلة المايكروبية الحية microbial biomass فإنها تمثل المواد العضوية المرتبطة مع خلايا احياء التربة المجهرية الحية. اما الدبال Humus فإنه يمثل المادة العضوية الباقية بالتربة بعد ازالة المواد العضوية الذائبة بالماء والاجزاء العضوية الكبيرة (الاكبر من الحد الادنى لجزء الرمل) المتواجدة مع نسيج التربة المعدنية والتي تزال اثناء التقدير بالنخل. وذكر Schnitzer,1991 ان للمادة العضوية مكونين رئيسين هما:

- المواد غير الدبالية: بقايا المواد المتحللة التي يمكن تمييز صفاتها الفيزيائية والكيميائية وتشمل الكربوهيدرات والبروتينات والاحماض الامينية والدهون والصبغات والاحماض العضوية وغيرها من المواد ذات الاوزان الجزيئية المنخفضة.
- المواد الدبالية تشمل على خليط من المواد غير المتجانسة وغير المتبلورة والتي ليست لها صفات محددة من المواد ذات الوزن الجزيئي المرتفع وتقسم هذه المواد حسب وزنها الجزيئي وخواصها ودرجة ذوبانها في القواعد والحوامض وتكون الى حامض الفولفك وحامض الهيومك والهيومين.

وظائف مادة التربة العضوية:

مع ان مساهمة مادة التربة العضوية في الكتلة الكلية للترب المعدنية متواضعة الا ان لتواجد هذه المواد العضوية دور مهم في التأثير في العديد من خصائص التربة ولاسيما الحيوية والكيميائية والفيزيائية والتداخل الكبير في التأثير بين هذه الخصائص، مما ينعكس على فعاليات النظام البيئي بشكل كبير (Baldock& Nelson, 2000). ويتمحور التأثير الحيوي حول كون مادة التربة العضوية خزاناً للطاقة الحيوية ومصدراً للمغذيات الكبرى ومحفزة او مثبطة لنشاط عدد من الانزيمات ونمو النبات والاحياء المجهرية.

النشاط الفيزيائي:

يتمثل بتثبيت تجمعات التربة وقابلية التربة للإحتفاظ بالماء الجاهز للنبات لما للمادة العضوية للتربة من قابلية عالية على امتصاص كميات من الماء تصل الى حوالي 20 ضعف كتلتها(Stevenson, 1994). هذا فضلاً عن دور المخلفات العضوية التي تضاف كغطاء على سطح التربة والتي تقلل من معدلات التبخر وتزيد من غيض الماء. وعموماً تأثير مادة التربة العضوية يتأتى من التأثير في زيادة التجمعات وتوزيع حجوم المسام وبالتالي في قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء الجاهز للنبات. يزاد على ذلك دور مادة التربة العضوية في المحافظة على التغيرات الحرارية للتربة.

الدور الكيميائي:

يتمثل الدور الكيميائي للمادة العضوية بمساهمتها بحدود 25 – 90٪ من قابلية التربة لتبادل الايونات الموجبة الـCEC للطبقة السطحية للتربة المعدنية وكل الـCEC للترب العضوية. وبسبب تواجد المجاميع العضوية الفعالة في مادة التربة العضوية فان للمواد العضوية دوراً مهماً في زيادة السعة البفرية للتربةBC. هذا فضلاً عن دور مادة التربة العضوية في زيادة جاهزية الفسفور من خلال التعقيد

مع الكالسيوم في الترب الكلسية والتنافس على مواقع الامتزاز وازاحة الفسفور الممتز وتحرير المغذيات الاخرى من خلال المساهمة في تجوية المعادن. كما تقوم مادة التربة العضوية بزيادة جاهزية المغذيات الصغرى والحد من التأثير السلبي لبعض الايونات السمية مثل الالمنيوم والكادميوم والرصاص في الترب الحامضية من خلال عمل المعقدات المختلفة.

محتوى التربة من المادة العضوية وخصوبة التربة:

يعد تقدير المادة العضوية من المعايير المهمة في تقييم وتقويم نوعية التربة ومدى ملاءمتها للإنتاج الزراعي. وبشكل مثالي تحوي الترب المعدنية نسبة مادة عضوية بحدود 5٪ وتزداد هذه النسبة وتقل اعتماداً على نوع التربة والظروف البيئية المحيطة وإدارة التربة (من فلاحة وري واستغلال زراعي وتسميد اخضر وتسميد عضوي...) وهي بشكل عام تزداد في الترب التي يكون فيها التساقط (الامطار+ الندى+...) اعلى من التبخر – نتح والظروف الباردة وبالتالي غطاء اخضر اكثر كثافةً وفقدان للمادة العضوية اقل. اما في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة تكون النسب واطئة وتصل الى نسب قليلة جداً لاسيما في الترب الرملية الصحراوية. وبسبب الظروف المناخية السائدة في العراق وشحة الغطاء النباتي الطبيعي فإن محتوى الترب العراقية من المادة العضوية يكون قليل (0.2 – 2.0٪ والتي تقابل 2.0 – 20.0 غم كغم$^{-1}$ تربة) وبمتوسط 0.5 ٪(5.0 غم كغم$^{-1}$ تربة)وتصل احياناً الى حدود 3.0٪ في بعض الترب في شمال العراق او حتى اعلى من هذا الرقم في ترب الغابات (الزبيدي وعلي 1999 وعواد، 1987). وبشكلٍ عام يكون محتوى الترب في المناطق الديمية المطرية من المادة العضوية اعلى من محتواها في الترب المروية. هذا فضلاً عن تعرض المادة العضوية الى سرعة التحلل بسبب الظروف المناخية لاسيما في اشهر فصل الصيف.

العمليات التي تحدث على المواد العضوية هي المعدنة mineralization والتدبل humification والنشدرة ammonification والنترجة nitrification والتطاير volatilization (راجع الفصل الثالث). العمليات هذه تقوم بها وتسرعها وجود الاحياء المجهرية biotic اي هذه العمليات هي كيموحيوية وتتأثر بعوامل:

أ. المناخ(الحرارة والرطوبة) وتأثيرات هذا العامل في العامل الحيوي.
ب. نوع الغطاء النباتي والاوراق المتساقطة.
ج. طبيعة المادة الام (النسجة والتركيب المعدني والـpH).
د. الوقت: عمر التربة وحالة الاتزان .
ه. وبالنسبة للأراضي المزروعة نوع الحراثة والري والدمن والاسمدة.
و. نوع المحصول: الكميات المزالة او المضافة الى التربة كبقايا.

ولتقدير محتوى التربة من المادة العضوية تتبع الطريقة المذكورة في التقويم الخصوبي للتربة (راجع الفصل الحادي عشر في هذا الكتاب).

وتحوي المادة العضوية على عناصر مغذية مختلفة ومنها النتروجين بشكل رئيس ولحساب كمية النتروجين التي يمكن ان يقابل محتوى التربة من المادة العضوية ممكن ان تتبع خطوات الحساب الاتية والافتراضات الاتية:

ليُفترض ان محتوى التربة من المادة العضوية هو 2.0٪ ونسبة النتروجين الكلي فيها 5.0٪ والنتروجين الجاهز يشكل 2.5٪ من الكلي(حسن وآخرون 1990). والمطلوب هو كمية النتروجين الجاهز في مساحة هكتار لعمق 30 سم مثلاً.

- وزن الهكتار لعمق 30 سم يحسب كالاتي:

10000 متر مربع(مساحة الهكتار)×0.3 متر(عمق التربة) ×1350 كغم لكل متر مكعب(الكثافة الظاهرية للتربة) ≈4000000 كغم

ولعمق 15 سم يكون الوزن بحدود 2000000 كغم.

ولذا كمية النتروجين الجاهز في تربة تحوي 2٪ مادة عضوية هو:

$$\frac{2.0}{100} \times \frac{5.0}{100} \times \frac{2.5}{100} \times 4000000 = 100 \text{ Kg N ha}^{-1}$$

اي لعمق 30 سم كمية النتروجين الجاهز هو 100 كغم للهكتار والذي يعادل بحدود 217 كغم يوريا.

ولعمق 15 سم كمية النتروجين الجاهز هو 50 كغم للهكتار والذي يعادل بحدود 108 كغم يوريا .على افتراض ان النتروجين الكلي يشكل 5٪ من المادة العضوية وان 2.5 منه جاهز.

المخلفات العضوية Organic Manure:

بشكل عام كان السماد العضوي (الحيواني والنباتي) هو السماد المستعمل في الزراعة، الا انه وبمرور الوقت تم التحول الى استعمال الاسمدة المعدنية (غير عضوية) الطبيعية والمصنعة مع الاستمرار في اضافة الاسمدة العضوية لأهميتها في تحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية، فضلاً عن احتوائها على عدد من المغذيات ولكن بنسب اقل بكثير من الاسمدة المعدنية اذ ان الاسمدة المعدنية تحوي على نسب اعلى من العناصر المغذية مقارنةَ بالأسمدة العضوية.

في السنوات الاخيرة هناك جدل حول الزراعة العضوية والمنتجات المنتجة بدون استعمال او اضافة المواد الكيميائية ومنها الاسمدة. الا انه وعلى الرغم من اهمية هذا الموضوع لعلاقته بموضوع تلوث التربة والماء الا انه يبالغ فيه احياناَ لعدم الفهم الكامل لطبيعة الاسمدة المصنعة وسلوكها في التربة وامتصاصها بوساطة جذور النبات، اذ ان النبات لايميز بين مصدر النتروجين ان كان عضوياً او معدنياً اذ ان المهم هو وجود النتروجين بشكل جاهز امونيوم او نترات. ومعظم النتروجين العضوي المضاف سيتمعدن وعند توافر الظروف المناسبة للنترجة (والتي هي غالباً متوافرة) يتحول النتروجين الى النترات التي ستتعرض الى الفقدان. ولكن المفيد في

المصادر العضوية هو كونها بطيئة الجاهزية والتحرر بشكل عام اعتماداً على درجة تحللها ومدى احتواءها على المغذيات لايكون كبيراً بالقياس الى الاسمدة المعدنية، وهذا مايقلل التأثير السلبي الناجم عن إضافات المخلفات والاسمدة العضوية بالقياس الى الاسمدة المعدنية.

التحلل Decomposition:

هي عملية التفكك المتدرج للمواد العضوية تحت ظروف معينة من حرارة ولرطوبة وتهوية والتي ينتهي الى مركبات عضوية منها بسيطة وممنها معقدة وغير عضوية في الطبيعة عملية التحلل هذه تتم بشكل رئيس بمساعدة احياء التربة التي تشتق الطاقة والمغذيات من هذه العملية. التأثير الصافي هو تحرر الكاربون والمغذيات مرة اخرى الى الدوران الحيوي على اساس مقياس محلي وعالمي.ومع ان الاتجاه عادةً نحو انتاج مواد ابسط الى انه احياناً تنتج مواد اكثر تعقيداً من الاصل.

عملية التحلل يسيطر عليها بالتداخل لثلاث مركبات: احياء التربة ونوعية او تركيب المخلفات العضوية التي يجري عليها التفاعل والمحيط الفيزيائي – الكيميائي. ان هذه المركبات لاتسيطر على عملية التحلل فقط بل الى درجة معينة على النواتج النهائية للتحلل ايضاً. ان هذه العملية تكمل دورة الكاربون وتحرر النتروجين والفسفور والكبريت والمغذيات الصغرى وتجعلها جاهزة للإمتصاص من قبل النبات.

عملية التحلل تبدأ بعد مهاجمة الاحياء المختلفة للمخلفات العضوية وتبدأ العملية بالمركبات سريعة التحلل مثل السكريات والبروتينات الذائبة والسليلوز والنشا وتكون بعض المركبات النتروجينية اكثر مقاومة للتحلل في البداية وان حوالي30٪ من النتروجين يكون سهل التحلل والقسم الباقي يمكن ان يبقى الى مدة طويلة جداً وهي عملية التحلل الثانوي.

وتعتمد سرعة اكسدة المواد العضوية وتحللها على التركيب الكيميائي للمواد وعلى الظروف الفيزيائية والكيميائية المحيطة. ومن اهم هذه العوامل المحيطة المؤثرة هي الحرارة ومعدل امداد الاوكسجين الغازي والرطوبة ودرجة التفاعل pH ومدى توافر المغذيات ونسبة الكاربون الى النتروجين C/N Ratio في المواد او المخلفات العضوية المعرضة للتحلل والمحتوى من اللكنين ودرجة التفكك. فدرجة الحرارة تؤثر في نشاط الاحياء المجهرية بشكل مباشر ومن ثم في عملية المعدنة للكاربون وعموماً اعلى معدل لإنطلاق ثنائي اوكسيد الكاربون يكون مرافقاً لدرجات الحرارة المعتدلة وتكون بين 25 – 35 ^{0}م.

وتعد عملية تحلل او عملية اعداد السماد العضوي او تحضير الدمن او الكومبوست قبل الاضافة الى الارض الزراعية من العمليات المهمة في المناطق الجافة وشبه الجافة وذلك لتسهيل عملية الاضافة والتقليل من الادغال والامراض وتجنب الروائح الناتجة من عمليات الاضافة المباشرة الى التربة. وخلال عملية التحضير هذه يحدث فقدان للنتروجين والكاربون بحدود 33٪ و68٪ على التوالي وهذه الارقام تعتمد على الظروف التي تجري فيها عملية التحلل والتي تترافق مع نقصان بحدود 21٪ الى 30٪ في المادة الجافة (Havlin وآخرون، 2005). وتمر المخلفات العضوية بمراحل اربع اثناء الاعداد وهي مرحلة المخلفات الطرية Fresh والنصف متحللة half decomposed وشبه المتحللة او المتعفنة rotted او المتحللة fermented. ان المدة المطلوبة لحصول التخمر تختلف حسب نوع المخلفات العضوية والظروف المحيطة ودرجة نشاط الاحياء المختلفة لاسيما المجهرية منها ولكنها عموماً تحتاج الى مدة لاتقل عن ثمانية اسابيع.

المصادر:

- Baldock,J.A. and P.N. Nelson.2000.Soil Organic Matter. in sumner,M.E.2000. Hand Book of Soil Science.CRC Press
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., and Beaton, J.D.2005.Soil Fertility and Fertilizers, 5th Edition's.USA
- Schnitzer , M. 1991. Soil Organic Matter. Soil Science 151:41-58.

- الجوذري، حياوي ويوه.2011. تأثير مصادر الاسمدة المختلفة ومستوياتها وطرائق الري في انتاجية البطاطا. اطروحة دكتوراه. قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
- حسن، نوري عبدالقادر وحسن الدليمي ولطيف العيثاوي(1990)خصوبة التربة والاسمدة.. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة بغداد.
- الخليل، شيرين مظفر.2011. تأثير التسميد المتكامل المعدني والعضوي والحيوي في انتاجية الطماطة. رسالة ماجستير. قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
- الزبيدي، احمد ونورالدين شوقي علي.1999 .الاستخدام الامثل لتقنيات الاسمدة الكيميائية في الزراعة العراقية. المؤتمر الفني الدوري الثالث عشر لإتحاد المهندسين الزراعيين العرب. دمشق – سوريا 21 – 1999/12/23.
- الفضلي، جواد.2011. تأثير التسميد العضوي والزنك والحديد في انتاجية البطاطا. اطروحة دكتوراه. قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة بغداد.
- عواد، كاظم مشحوت (1987) التسميد وخصوبة التربة. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. جامعة البصرة.

الفصل الحادي عشر

التقويم الخصوبي للتربة

Soil Fertility Evaluation

عملية التقويم الخصوبي عبارة عن عملية تقدير قابلية التربة على تجهيز مغذيات النبات المطلوبة للنمو المثالي، وهذا التقويم يشمل على عدد من العمليات التي تستخدم تشخيصات حقلية ومختبريه وعدد من النماذج الرياضية التي تربط العلاقة بين مستوى العناصر الغذائية في التربة واستجابة النبات.

الإنتاجية الملائمة والجيدة لنظام زراعي معين تعتمد على تجهيز مناسب للعناصر الغذائية من التربة للنبات. الإزالة المستمرة للمغذيات مع تعويض قليل للكمية المزالة أو بدون تعويض سيعرض النباتات المزروعة إلى إجهاد يرتبط بنقص المغذيات لاسيما إذا كانت التربة ذات قابلية محدده لتجهيز المغذي أو المغذيات المطلوبة من قبل النبات. وهنا سيكون العنصر المغذي المعين عاملاً محدداً للنمو (limiting factor).

المستوى الملائم من المغذي المعين يحدد من معرفة متطلبات المحصول (crop nutrient requirements) من ذلك المغذي والذي يعتمد على نوع النبات وصنفه ومستوى الإنتاج (هدف الانتاج Yield Goal) والقوة التجهيزية للتربة (Soil supplying power)، فضلاً عن عاملي البيئة والتي تتضمن خصائص التربة المختلفة التي تؤثر في جاهزية العناصر المغذية والإدارة. وهناك برامج حاسوبية لحساب هذه المتطلبات تدخل فيها نوعية المياه والتربة والمحصول وحتى نوع السماد. ولذا التقويم الخصوبي للتربة يعد خطوة البداية في اي انتاج زراعي منتج ومستدام.

ومن أهم التقنيات المستخدمة لتقدير المستوى الخصوبي أو تقييم خصوبة التربة:

- علامات نقص المغذي على النبات Nutrient deficiency symptoms of plants.
- تحليل النبات Plant analysis.
- تحليل التربة Soil analysis.
- فحوص بيولوجية مثل تنفيذ تجارب مختبريه او في البيوت المغطاة او تجارب حقلية لدراسة مدى استجابة النبات للأسمدة او للمغذيات المضافة.

- علامات نقص المغذي على النبات:

النباتات عبارة عن المصب النهائي لعوامل النمو، لذلك الملاحظة والمراقبة والمتابعة الدقيقة والمعتنى بها للنبات يمكن ان تبين الإجهاد الغذائي أو النقص التي من الممكن ان يؤثر في نمو النبات وإنتاجيته.

ومع ان عملية التشخيص ليست عملية سهلة لأنها تحتاج الى خبرة في فسلجة العناصر المغذية (دورها في النبات وحركتها في النبات والتداخل بين العناصر المختلفة) الا انها عملية مهمة ويمكن ان تحدد على الاقل التحليل المطلوب. اذ ان كل علامة نقص يجب ان ترتبط الى حد ما مع بعض وظائف المغذيات في النباتات (الفصول 3-8).

المشكلة في صعوبة التشخيص ان للمغذي اكثر من دور ووظيفة وهناك تشابه وتداخل في بعض الادوار مما يعطي علامات متشابهة. مثال ذلك نقص النتروجين يظهر على هيئة فقدان اللون الاخضر والشحوب، الا ان هذه الحالة تظهر مع نقص مغذيات اخرى مثل الكبريت والحديد والمغنيسيوم، ولذا من الضروري ملاحظة موقع النقص وهذا يتطلب معرفة حركة المغذيات في النبات. اذ ان المغذيات المتحركة مثل النتروجين والبوتاسيوم والفسفور تظهر علامات نقصها على الأوراق السفلى والمغذيات غير المتحركة او محدود الحركة مثل الكالسيوم

والمولبدنم تظهر علامات نقصها على الاوراق العليا والقمم النامية. هذا فضلاً عن التداخل بين علامات النقص والاصابة بالحشرات او الحرق الكيميائي او الاجهادات الاخرى مثل الملوحة والجفاف.

علامات النقص تظهر عندما يكون تجهيز المغذيات واطئ جداً مما يؤدي الى عدم إستطاعة النبات تأدية وظائفه على الوجه الأكمل. وهذا يعني انه من الضروري تشخيص النقص قبل هذة المدة او المرحلة من النمو كي يكون هناك وقت كاف للمعالجة او بتعبير آخر إضافة الاسمدة اما إضافة جانبية او رشاً على الأوراق. وفي حالات كثيرة لاتظهر علامات النقص على النباتات الا انه ومع معظم المحاصيل يمكن الحصول على استجابه لإضافة المغذيات وهذا يسمى الجوع او النقص غير الظاهر او ما يعرف بالجوع المخفي Hidden hunger (هناك عدم كفاية للمغذي الا ان النقص لم يصل الى الحد التي تظهر فيه العلامات ولكن هذا النقص يؤثر سلباً في الانتاج). وهنا تأتي أهمية تحليل النبات والتربة في إدارة المغذيات لتفادي اي نقص يمكن ان يقلل من الوصول بالإنتاج الى المستوى المثالي او الأقصى ان أمكن ذلك، ويجب اعتماد مبدأ الوقاية خير من العلاج في ادارة النباتات.

- تحليل النبات Plant analysis:

طرائق التحليل تشمل على اختبارات على النسيج الطازج في الحقل او تحاليل في المختبر.

= فحص الأنسجة Qualitative Test:

وهو فحص سريع ينفذ موقعياً في الحقل وهو اقرب الى التقدير الوصفي او شبه الكمي منه الى الكمي الا انه يمكن ان يعطي دليل سريع على النقص. وهذا الفحص يمكن ان ينفذ بأخذ جزء من العصارة النباتية من الورقة او الساق واضافة محلول معين مخصص للفحص المطلوب ومن ثم مقارنة ذلك بصور مجهزة او بلوحة الوان تبين حالة المغذي المعين. وهناك حقيبة حقلية تحوي بعض الكواشف

والمواد الكيميائية لهذه الاغراض تسمى quick test kit ومثال ذلك فان الفسفور يقدر باضافة محلولي كلوريد القصديروز وموليبدات الامونيوم الى النسيج النباتي بعد وضعه على ورقة ترشيح. ان ظهور اللون الازرق الغامق دلاله على وجود جيد ومستوى جيد للفسفور اما اللون الفاتح فدلالة على النقص. ويفضل ان تكون الورقة المفحوصة ناضجة واستخدام اكثر من ورقة واخذعينات من ورقة سليمة واخرى يبدو عليها علامات النقص لغرض المقارنة.كما ان الوقت المناسب للفحص مهم ومثال ذلك فان فحص النترات يفضل ان يكون في الصباح الباكر كي لايؤثر الإجهاد الرطوبي على الفحص.

= التحليل الكلي Quantitative Test:

وهذا التحليل ينفذ على عينة مأخوذه من جزء من النبات او النبات كله في المختبر بعد الحصول على ألعينه الممثلة. ومن المهم ان تنظف العينة المراد تحليلها من التربة او الاوساخ التي تغطيها بالماء الخالي من الايونات ومن ثم تجفف وتطحن وتحفظ في اوعية او قناني بلاستيكية لحين التحليل الكيميائي. والتجفيف للاجزاء النباتية يتم في فرن كهربائي على درجة حرارة في المدى 60-70 درجة مئوية. ولتقدير المحتوى من المغذيات يجب ان تهضم العينات النباتية (تحول المغذيات من الأشكال العضوية الى المعدنية) اما باستخدام حوامض مركزة او مايطلق عليه بالهضم الرطب او من خلال الحرق بالمرمدة (muffle furnace) او مايسمى بالحرق الجاف ولكل طريقة محاسن وعيوب. ومن الحوامض المستخدمه في الهضم الرطب حامضي الكبريتيك والبيركلوريك المركزين.

ومن الامور المهمه في التحليل للنبات هو اختيار العينة الممثلة للنبات والوقت المناسب لاخذ العينة والجزء المثالي لاجراء التحليل. ومن المهم عند المقارنة مع مستويات النقص والكفاية ان تكون المقارنة للجزء النباتي نفسه ولنفس الموقع على النبات ولمرحلة النمو ذاتها ومراعاة ان تكون طرائق التحاليل والتقدير متشابه. ومثال ذلك هناك دراسات تشير الى ان تراكيز النتروجين والبوتاسيوم والفسفور في

نبات الذرة الصفراء(.Zea mays L) تكون مثالية اذا كانت قيم تحليل النتروجين والفسفور والبوتاسيوم في النبات 3.0,0.3,3.0 ٪ (30، 3، 30 ملغم غم$^{-1}$ وزن جاف) على التوالي بشرط ان يكون الجزء المختار هو الورقة تحت العرنوص(Ear leaf) وفي مرحلة الحريرة Silking stage. الموضوع الاكثر اهمية هو اختيار العينة الممثلة وفي الوقت المناسب وتوجد العديد من المصادر التي تهتم بطبيعة العينة والجزء النباتي وموعد اخذ العينة ومديات تراكيز النقص والكفاية كما اشير الى ذلك آنفاً وفي مصادر اخرى(النعيمي،1999 والصحاف،1989).

- تحليل النبات **Plant Analysis**:

سيتم التطرق هنا الى تقدير المحتوى الكلي للعناصر في العينات النباتية باستعمال طريقة كلدال المحورة modified Kjeldahl method (Haynes،1980):

- تحضير العينة النباتية: تنظيف العينة النباتية من الاتربة العالقة بها او العناصر بالغسل بالماء الخالي من الايونات والتجفيف على درجة حرارة 60 – 70^0 مئوية ومن ثم طحنها وامرارها من منخل مناسب والحفظ بعلب بلاستيكية لحين التحليل.
- اجراء عملية الهضم: وهذه العملية تجرى للحصول على المغذيات ذائبة بالمحلول (لان معظم المغذيات عدا البوتاسيوم تتواجد بشكل مركبات عضوية لايمكن إذابتها بالماء فقط).وتجرى عملية الهضم بالاحماض المركزة وهنا يتم استعمال حامض الكبريتيك المركز وحامض البيروكلوريك (من الممكن استعمال بيروكسيد الهيدروجين). ويمكن تلخيص خطوات الهضم الرطب وكما يأتي:

- اخذ وزن معين من العينة النباتية المجففة والمطحونة(0.2- 1.0 غم) حسب الجزء النباتي والوزن الاقل يناسب عينات الاوراق، وعموماً 0.2 غم كافي للأجزاء العليا.
- توضع العينة الموزونة في دورق مخروطي Erlenmeyer flask ويفضل حجم 25 – 50 مللتر.
- يضاف 3 مللتر من حامض الكبريتيك المركز والخاص بالتحاليل(يفضل استعمال سحاحة) ويوضع الدورق على حمام رملي sand bath (هيتر مغطى بطبقة من الرمل) ويفضل ان لاتزيد درجة الحرارة عن 250 درجة مئوية ويتم زيادتها باتدريج. يترك الدورق الى ان تحترق المادة تصبح سوداء اللون.
- يتم وضع الدورق جانباً الى ان يبرد وتتم إضافة 1 مللتر من خليط (1:1 حامض كبريتيك الى حامض بيروكلوريك) من خلال سحاحة.
- يعاد الدورق الى الحمام الرملي ويترك الى ان يصبح لون المحلول رائق.
- يجب ان تتم عملية الهضم في الـHood او باستعمال جهاز كلدال المخصص للهضم وذلك للتخلص من الغازات السامة الناتجة التي من الممكن ان تؤذي القائمين على التحليل.
- تنقل المحتويات الى دورق حجمي V.Flask او معياري (حجم 25 مللتر) ويكمل الحجم بالماء المقطر الى حد العلامة.
- في المحلول الاخير يتم تقدير الايونات المغذية وحسب الطريقة المخصصة لكل عنصر وكما مبين ادناه.

❖ تقدير النتروجين N:

يتم استعمال طريقة التبخير التقطير Steam Distillation وباستعمال جهاز كلدال micro Kjeldahl وكما يأتي:

- يؤخذ 10 مللتر من العينة المهضومة والمخففة من الخطوة السابقة وتوضع في دورق خاص بجهاز كلدال.

- يضاف 10 مللتر من هيدروكسيد الصوديوم 10M NaOH ويوضع الدورق في مكانه المخصص في جهاز كلدال (شكل 1.11) وبسرعة لمنع فقدان غاز الامونيا.
- في الجهة الثانية (جهة الاستقبال) يوضع دورق مخروطي (25 مللتر) يحوي 5 مللتر من حامض البوريك + خليط الكواشف ((Methyl red+ Bromo cresol green).
- يبدأ بتشغيل الجهاز (المصدر الحراري) وتشغل دورة الماء بشكل جيد ويستمر بجمع النتروجين الى ان يصبح الحجم المتجمع في جهة الاستقبال بحدود 25 مللتر.
- تجرى عملية التسحيح مع حامض كبريتيك بعيارية معينة (0.01N H_2SO_4) ويحسب حجم الحامض المستهلك وتحسب نسبة النتروجين حسب المعادلة الاتية (عيارية حامض الكبريتيك تعتمد على تركيز النتروجين في الجزء المراد تقديره ولذا في محاليل التربة التركيز يكون اقل بكثير). كما يمكن استعمال حامض الهيدروكلوريك الا ان حامض الكبريتيك يعطي نتائج اكثر دقة:

$$\text{تركيز النتروجين (\%)} = \frac{\dfrac{\text{حجم حامض الكبريتيك المستخدم} \times 0.01 \times 14 \times}{\text{حجم محلول الهضم}(25)}}{\text{وزن العينة النباتية (0.2غم)} \times \text{حجم الراشح المستعمل(10 مللتر)} \times 1000} \times 100$$

ملاحظة: لون حامض البوريك مع الكواشف شوندري ومع الامونيا يتغير اللون الى الاخضر المزرق وبعد التسحيح يحسب الحجم المطلوب لتغير اللون الى اللون الاصلي. المحاليل المستخدمة: ستوضح لاحقاً مع تحليل التربة.

تقدير الفسفور:

- يؤخذ 5 مللتر من العينة المهضومة المخففة وتوضع في دورق معياري حجم 25 مللتر ويضاف 5 مللتر من خليط موليبيدات الامونيوم + حامض الاسكوربيك التي تحضر آنياً ويكمل الحجم الى حد العلامة بالماء المقطر(المحاليل موضحة مع تحليل التربة).
- يتم القياس باستعمال جهاز المطياف الضوئي Spectrophotometer وعلى طول موجي 882 نانومتر بعد تحضير محاليل فسفور قياسية.
- يتم حساب تركيز الفسفور من المعادلة الاتية:

$$\text{تركيز الفسفور(٪)} = \frac{\dfrac{\text{تركيز الفسفور من الجهاز او المنحني} \times 25 \text{ حجم محلول الهضم} (25) \times 25 \text{مللتر (حجم التخفيف)}}{1}}{\text{وزن العينة النباتية (0.2غم)} \times \text{حجم الراشح المستعمل(5مللتر)} \times 1000000} \times 100$$

تقدير البوتاسيوم:

- يؤخذ 5 مللتر من العينة المهضومة المخففة التي اشير اليها آنفاً وتوضع في دورق حجمي 50 مللتر ويكمل الحجم بالماء المقطر
- يتم القياس بجهاز مقياس اللهب Flame photometer بعد تحضير محاليل قياسية.
- يتم اجراء التركيز من المعادلة الاتية:

$$\text{تركيز الفسفور(٪)} = \frac{\text{تركيز البوتاسيوم من المنحني (جزء بالمليون)} \times \text{حجم محلول الهضم} (25) \times 25 \text{مللتر (حجم التخفيف)}}{\text{وزن العينة النباتية (0.2غم)} \times \text{حجم الراشح المستعمل(5مللتر)} \times 1000000} \times 100\ K$$

ملاحظة: مع انه يمكن قياس اغلبية المغذيات في محلول الهضم المخفف الا ان بعض العناصر مثل الصوديوم والكبريتات والكلور والنترات والامونيوم يمكن ان تستخلص من انسجة النبات بالماء المقطر (1:250 sample water ratio) بعد الرج لمدة 21 ساعة.

❖ تحليل التربة Soil analysis:

او ما يطلق عليه بفحص التربة Soil test وهو يمثل اجراء استخلاص كيميائي لعينة تربة لتقدير جاهزية المغذيات. ومن اهم مميزات تحليل التربة هو تحديد مستوى المغذي النسبي قبل الزراعة. ومع ان كمية المغذي المستخلصة بفحص التربة غير مساوية بالضبط للكمية الممتصة من قبل النبات الا انها ترتبط معها بشكل جيد فيما اذا تم استعمال المستخلص المناسب. ولذا يعد فحص التربة بانه يعطي دليل جيد لمدى الاستجابة لاضافة المغذيات من عدمها. وبشكل عام يمكن تصنيف الاستجابة للسماد المضاف إلى:

أكيدة　　　محتملة　　　غير محتملة

ولكي تكون نتائج تحليل التربة جيدة ويعتمد عليها في إجراء التوصيات السمادية تلاحظ الامور الاتية:

- اخذ عينات التربة: يجب ان تكون العينة المختارة ممثلة للحقل التي اخذت منه وبوقت مناسب واستعمال العينة المركبة عندما يكون الحقل متجانس او عينة لكل موقعSite specific في حالة عدم التجانس.
- تراعى الطرائق السليمة في تحضير العينات للتحليل من تجفيف وطحن وخزن.
- اختيار المسخلّص المناسب Extractant وطريقة الاستخلاص الموصى بها للمغذي المعين وللتربة المعينة.
- استخدام أفضل طرائق التقدير المتوافرة من اجهزة ومعدات للتقدير.

- وقت اخذ عينات التربة Sampling time:

بشكل مثالي يجب ان تؤخذ العينات قبل الزراعة او في وقت مبكر من دورة المحصول ومع هذا من الممكن ان تؤخذ العينات في أي وقت تسمح ظروف التربة لاسيما في الوقت التي لا يتواجد به المحصول. معظم التوصيات تنادي بفحص الحقل كل ثلاث سنوات وكلما كانت التربة اكثر خشونة (رملية مثلاً) كلما تطلب تقليص مدة الفحص.

- المستخلصات Extractants المستخدمة في تحاليل التربة:

المستخلص الكيميائي المستخدم في فحص التربة يختلف مع المغذي اذ ان المستخلص المستخدم يزيل المغذي من خزانات واماكن تواجده (بتعبير اخر من الجزء المتبادل والممتز والمعادن). ولذا تختلف المستخلصات مع اختلاف الترب لاسيما بالنسبة للمغذيات مثل الفسفور الجاهز التي يتطلب مستخلص مختلف مع اختلاف الترب.

تقدير النتروجين الجاهز في التربة:

- يوضع 10 غم من التربة المخصصة للتحليل في دورق مخروطي
- يضاف 100 مللتر من ملح كلوريد البوتاسيوم (2 مولاري)
- تجرى عملية الرج او التحريك لمدة 15 دقيقة والترشيح (اذا كان ضروري مع انه غير مهم في تقدير النتروجين).
- تقدير المحتوى: يتم هنا استخدام جهاز مايكرو كلدال Micro Kjeldhal التي اشير اليه آنفاً في تحاليل النبات.

تقدير الامونيوم (NH4-N):

1. يؤخذ10 مللتر من الراشح في الفقرة اعلاه ويوضع في انبوبة او دورق الجهاز
2. يضاف 0.2 غم تقريباً من اوكسيد المغنيسيوم ويعاد الدورق الى مكانه المخصص في الجهاز
3. في جهة الاستقبال يوضع 5 مللتر من حامض البوريك مع عدد من الكواشف (Bromo cresol green +Methyl red) في دورق مخروطي لأستقبال الامونيا المتقطرة. ويبدأ بتشغيل الجهاز وتشغل دورة الماء بشكل جيد ويستمر بجمع الامونيا الى ان يصبح الحجم المتجمع في جهة الاستقبال بحدود 25 مللتر (هذه الكمية مهمة لزيادة الدقة).
4. يتم التسحيح مع حامض الكبريتيك ($0.005N\ H_2SO_4$).

تركيز الامونيوم – N (ملغم N كغم$^{-1}$ تربة) = $\dfrac{\text{حجم حامض الكبريتيك المستخدم} \times 0.005 \times 14 \times \text{حجم المستخلص}(100)}{\text{وزن التربة (غم)} \times \text{حجم الراشح المستعمل في الجهاز}(10\ \text{مللتر})}$ 1000

- تقدير الامونيوم + النترات:

1) يؤخذ 10 مللتر من الراشح في الفقرة اعلاه ويوضع في انبوبة او دورق الجهاز يضاف 0.2 غم تقريباً من اوكسيد المغنيسيوم +0.2 غم من سبيكة الديفاردة (Devarda alloy) ويعاد الدورق الى مكانه المخصص في الجهاز.
2) تتبع الخطوات اعلاه نفسها وبالتتابع.

- تقدير النترات:

النترات = (النترات + الامونيوم) – الامونيوم.

- **تقدير النتروجين الكلي:**

يعد تقدير النتروجين الكلي في التربة من القياسات المهمة في تقويم محتوى التربة من النتروجين وذلك لكون معظم النتروجين في التربة هو ضمن النتروجين العضوي (راجع الفصل الثالث). وتستعمل طريقة كلدال والتسحيح.

ان اساس طريقة كلدال هو معدنة النتروجين العضوي (اي تحويل النتروجين العضوي الى الامونيوم) باستعمال الطريقة الرطبة في وسط حامض الكبريتيك المركز بوجود عوامل مساعدة Catalysts تسرع من التفاعل.

$$(R_3)N + H_2SO_4 \xrightarrow{\text{Catalyst}} (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$$

$$2NH_4+ + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + 2H^+$$

ومع ان كمية النترات والنتريت قليلة الا انه يمكن اختزالها بحامض السلسليك salicylic acid وهايبوسلفات الصوديوم sodium hyposulfite $.Na_2S_2O_3$

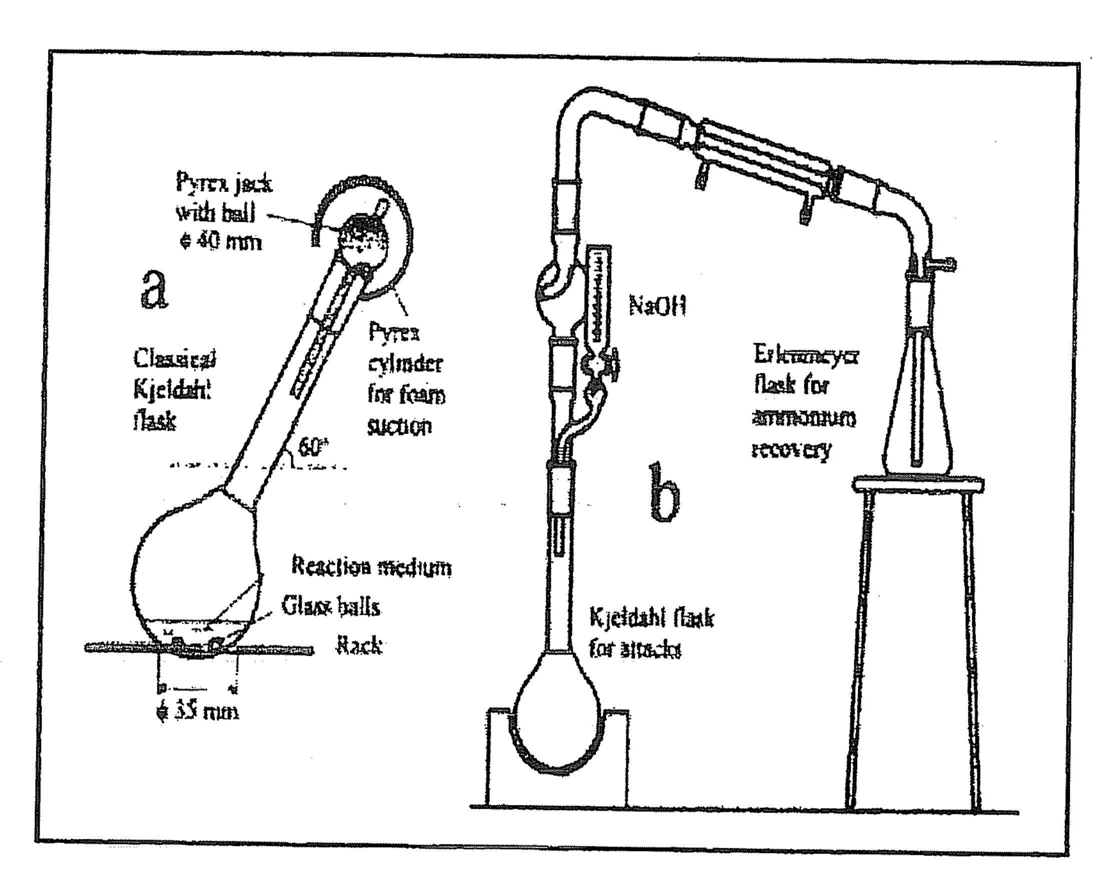
- التسحيح يتم من خلال تحويل الامونيوم الى امونيا في وسط قاعدي:

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

باستعمال جهاز التبخير تقطير stem distillation والامونيا التي يتم جمعها في حامض البوريك تسحح مع حامض كبريتيك بعيارية معينة كما اشير الى ذلك آنفاً.

الاجهزة المطلوبة:

- ميزان حساس ±0.1 ملغم.
- هيتر للتسخين (مصدر حراري).
- دوارق كلدال مصنوعة من الـPyrex.
- كرات زجاجية.
- جهاز micro Kjeldahl للتسخين تقطير (الشكل 1.11).
- دوارق مخروطية وسحاحة 0.1 مللتر.



شكل (1.11) مخطط لجهاز كلدال للتبخير –التقطير

المواد الكيميائية Reagents:

- حامض كبريتيك d=1.83
- مواد مساعدة ترفع درجة الحرارة وتسرع التفاعل وهي 100 غم من كبريتات البوتاسيوم + 20 غم من كبريتات النحاس ومسحوق السلينيوم تخلط وتطحن وتخزن في دورق. او عبارة عن خليط من:

(catalytic mixture 200 g K_2SO_4, 6 g $CuSO_4$,$5H_2O$, 6 g TiO_2).

- حامض البوريك 2% boric acid (H_3BO_3) solution الاذابة بالماء المقطر (حامض البوريك مادة صلبة –باودر).
- دليل Taschiro (يتم تحضيره من مزج جزء 0.1% methyl brown bottleredethanolsolution مع ثلاثة اجزاء من 0.1%bromocresol green ethanol solution وتخزن في بطل غامق).
- هيدروكسيد الصوديوم Sodium hydroxide (NaOH) solution ويتم تحضيره من اذابة 416 غم من هدروكسيد الصوديوم في لتر من الماء المقطر في دورق حراري وعلى حمام ثلجي (يوضع الدورق على الثلج عند التحضير لإنبعاث حرارة عالية عند الذويان) وتوضع في دورق حراري محكم الغلق.
- محلول قياسي من كبريتات الامونيوم للمعايرة.

طريقة العمل:

- يؤخذ وزن معين من التربة(2 غم تربة جافة مثلاً) ويوضع في دورق وترطب التربة بالماء المقطرويتم التحريك للمجانسة وتترك لليوم التالي.
- يضاف ويهدوء 20 مللتر من حامض الكبريتيك المركز.
- يضاف بواسطة ساجولا spatula (ملعقة كمية) 2 غم من المواد المساعدة للتفاعل وثلاث كرات زجاجية.

- يتم الهضم في جزء الجهاز المخصص للهضم او على هيتر معين واستمر في الهضم لمدة من الزمن الى ان يختفي اللون الغامق.
- اترك الى ان يبرد ويغسل العنق والجدران بـ 10 مللتر ماء مقطر distilled والافضل خالي من الايونات deionized.
- ويوضع الدورق في مكانه المخصص في الجهاز (الشكل اعلاه).
- يضاف 100 مللتر من هيدروكسيد الصوديوم ويشغل الجهاز(دورة الماء تكون شغالة والهيتر او المصدر الحراري يعمل)(في بعض الاجهزة يضاف هيدروكسيد الصوديوم الى الدورق قبل وضعه في المكان المخصص).
- في جهة الاستقبال يوضع 5 مللتر من حامض البوريك مع عدد من الكواشف (Bromo cresol green+Methyl red) في دورق مخروطي لأستقبال الامونيا المتقطرة. ويبدأ بتشغيل الجهاز وتشغل دورة الماء بشكل جيد ويستمر بجمع الامونيا الى ان يصبح الحجم المتجمع في جهة الاستقبال بحدود 25 مللتر.
- يتم التسحيح مع حامض الكبريتيك (0.01-0.1 N H_2SO_4) الموضوع في سحاحة.
- يحسب حجم الحامض المستهلك ومنه يحسب تركيز النتروجين.

يعبر عن النتائج كالاتي:

اذا كان V يمثل حجم الحامض المستهلك مللتر بعيارية 0.1 وP كتلة التربة المستعملة فإن كمية النتروجين معبراً عنها بالـ ملغم نتروجين غم$^{-1}$ تربة

1.4 V/P.= (mg N g^{-1} soil)

تقدير الفسفور الجاهز:

وهنا تستعمل طريقة اولسن للإستخلاص لكونها ملائمة للترب العراقية (اي يستعمل محلول بيكاربونات الصوديوم في عملية الاستخلاص)(Olsen & Sommers, 1982 المذكورة في 1982،Page):

- يوضع 5 غم وزن جاف من التربة في دورق مخروطي.
- يضاف 100 مللتر من محلول الاستخلاص وهنا تستعمل بيكاربونات الصوديوم $0.5\ M\ NaHCO_3$ والمعدل الـ pH للمحلول على 8.5.
- تجرى عملية الرج لمدة 30 دقيقة والترشيح او الفصل بالطرد المركزي (Centrifuge).
- يؤخذ 5 مللتر من الراشح ويوضع في دورق حجمي 25 مللتر ويعدل الـpH باستعمال صبغة البارانايتروفينول الصفراء 25٪. الصبغة تكون صفراء في الوسط القاعدي وعديمة اللون في الوسط الحامضي. ولذا اذا كان اللون اصفر وهو المتوقع لأن الاستخلاص تم في وسط قاعدي والتربة قاعدية التفاعل في العراق وتضاف قطرات من حامض كبريتيك 5 عياري الى ان يختفي اللون. واللون الاصفر هو اللون المتكون كون الوسط قاعدي.
- يضاف 4 مللتر من محلول تطوير اللون(محلول الموليبيدات المحمضة+ حامض الاسكوربيك(كاشف B)) ويكمل الحجم الى العلامة بمحلول الاستخلاص
- يتم قياس محتوى الرواشح من الفسفور بعد تطوير اللون باستخدام الموليبيدات الزرقاء Blue molbdate method وهي طريقة جيدة لاسيما عندما تكون كمية الفسفور واطئة.

وأساس الطريقة ان الموليبيدات الحامضية تعمل معقد مع الفسفور الموجود في المحلول والذي يمكن اختزاله بمادة مختزلة هي حامض الاسكوربيك Ascorbic acid (فيتامين C)، مكونةً لون ازرق تعتمد شدته مع تركيز الفسفور في المحلول.

- شدة اللون يمكن قياسها بجهاز المطياف الضوئي spectro photometer وعلى طول موجي 882 نانوميتر. وهنا القياس يكون اما عبارة عن تركيز او يتم استخراج التركيز من المنحنى القياسي التي يتم اعداده. والقياس يجب ان يتم مباشرة بعد تطور اللون لأن شدة اللون قد تتغير مع الزمن.

يتم اجراء الحسابات كمايأتي:

$$\text{تركيز الفسفور (ملغم غم}^{-1}\text{ تربة)} = \frac{\text{تركيز الفسفور من الجهاز او المنحني} \times 100 \times 25}{\text{الفسفور الذائب يمكن الحصول عليه بالاستخلاص بالماء المقطر او محلول ملحي ومن ثم تطوير اللون والقياس بالطريقة اعلاه.} \times 5 \text{ وزن التربة (5غم)}}$$

لمزيد من التفاصيل والاطلاع على الطرائق الاخرى يمكن الرجوع الى كتاب تحليل التربة Methods of soil analysis الذي قام بنشره Page,1982 او اي مصدر معتمد.

المحاليل المستعملة Reagents:

- 0.5 مولاري من $NaHCO_3$ عند pH =8.5.
- 5 عياري حامض كبريتيك (141 مللتر من الحامض المركز تضاف الى كمية من الماء ويكمل الحجم الى لتر بالماء المقطر)
- محلول فسفور قياسي: يحضر تركيز 100 مايكروغرام مل$^{-1}$ وذلك بإذابة 0.4393 غم من فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 ويكمل الحجم الى لتر بعد إضافة التولوين (مادة حافظة توقف النشاط البكتيري) ومن هذا المحلول تحضر تراكيز بحدود 0 – 1.0 مايكروغرام مل$^{-1}$.
- موليبدات الامونيوم Ammonium molbdate: تتم اذابة 12 غم من موليبدات الامونيوم في 250 مللتر ماء مقطر وتضاف الى لتر من حامض كبريتيك 5 ع والمزج بشكل جيد ويكمل الحجم الى 2 لتر بالماء المقطر (يجب

ان يحفظ المحلول في دورق داكن اللون او يغلف الدورق بالورق الفضي)(يطلق على هذا المحلول كاشف A).

- يذاب 1.056 غم من حامض الاسكوربيك في 200 مللتر من كاشف A ويمزج (يسمى هذا كاشف B) ومحلول كاشف B يحضر انياً ولايمكن استعماله في اليوم التالي. عند استعمال حامض الاسكوربيك فلاتوجد حاجة لإستعمال الفحم لأزالة اللون الناجم عن وجود المواد العضوية.

تقدير البوتاسيوم:

تستعمل طريقة الاستخلاص بخلات الامونيوم:

- يوضع 10 غم من التربة في دورق مخروطي.
- يضاف 100 مللتر من خلات الامونيوم NH_4OAC $(2M\ NH_4CH_3COO)$
- رج لمدة 15 دقيقة والترشيح.
- بعد الاستخلاص يتم قياس محتوى البوتاسيوم بجهاز مقياس اللهب flame photometer.

K (ملغم غم$^{-1}$ تربة) = (تركيز العينه من الخط البياني(ملغم K لتر$^{-1}$)(جزء بالمليون) ×100) / وزن التربة (10غم)

- **تقدير الكاربون العضوي في التربة بطريقة الاكسدة الرطبة:**

Organic Carbon by Wet Oxidation at the Temperature of Reaction:

تقدير الكاربون الكلي العضوي بالاكسدة بدايكرومات البوتاسيوم في وسط حامض قوي مفتوح اقترحت من قبل.

Walkley and Black (1934) ومن ثم Schollenberger (1927)
وبالتالي اخذت اسم الاخير.

بعد مرحلة من الاكسدة/المعدنة عند درجة حرارة التفاعل لمدة معينة الدايكرومات غير المختزله الزائدة يعاد تسحيحها مع الحديدوز.

العوامل المؤثرة في معدنة الكاربون وهي تركيز حامض الكبريتيك والفسفوريك وتركيز دايكرومات البوتاسيوم ودرجة حرارة الاكسدة ووقت التماس.

أساس التقدير:

- المعدنة: صور الكاربون العضوية تتأكسد بتواجد زيادة من الدايكرومات. التفاعل بوجود وسط حامضي مركز بدرجة حرارة 120 درجة مئوية. ويكون التفاعل كماياتي:

$$3C+2Cr_2O_7^{2-}+16\,H^+ \rightarrow 4Cr^{3+}+8H_2O+3CO_2$$

كمية الدايكرومات المختزلة تعتبر كمياً مرتبطة بالكاربون العضوي للعينة. وهناك معامل تصحيح بحدود 1.3 (76/100) على افتراض ان 76٪ من الكاربون يتأكسد في هذه الطريقة. الاشكال المعدنية الكاربونات والبيكاربونات تتحطم ولاتلعب دور مهم.

- عملية التسحيح:

التسحيح الحجمي الرجعي للدايكرومات Cr^{+VI} غير المستهلكة بالكاربون العضوي هو الذي يتم بالتسحيح (كبريتات الحديدوز او Mohrs salt) في وجود كاشف

$$Cr_2O_7^{2-}+6Fe^{2+}+14H^+ \rightarrow 2Cr^{3+}+6Fe^{3+}+7H_2O$$

حامض الفسفوريك يضاف لتثبيت ايونات الحديديك المتكونة او الذائبة ولتحسين نقطة نهاية التفاعل:

$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Fe^{3+} + 6F^- \rightarrow FeF_6^{\ 3-} \text{ (un -coloured)}$$

- المواد الكيميائية:

كل المواد يجب ان تكون analytical reference grade:

- ماء مقطر او معاد تقطيره او ماء خالي من الايونات
- دايكرومات البوتاسيوم 0.166 1 مولاري: يذاب 49.040 غم من دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ مجفف في دسيكيتر وتذاب في 800 مللتر ماء مقطر ومن ثم يكمل الحجم الى 1000 مللتر (1 لتر) في دورق معياري.
- حامض كبريتيك مركز
- 0.5 عياري من حامض الكبريتيك: يتم وضع 800 مللتر ماء مقطر في دورق معياري من البايركس Pyrex حجم لتر ويضاف بهدوء 13.9 مللتر من حامض الكبريتيك المركز (الماء لايضاف على الحامض بل العكس) ويجانس الخليط وبعد مايبرد يمكل الحجم الى العلامة بالماء المقطر.
- 0.5 ع من الحديد وكبريتات الامونيوم وملح Mohars: اذب 196.05 غم من $Fe(NH_4)_2SO_4,6H_2O$ (مجفف في الدسيكيتر) يذاب في 800 مللتر من 0.5 ع حامض الكبريتيك. المحلول يجب ان يكون رائق او اخضر فاتح.
- حامض فوسفوريك مركز d=1.71(85%)
- محلول الداي فنيل امين Diphenylamine solution: اذب 0.5 غم من الداي فنيل امين في 100 مللتر حامض كبريتيك مركز. يسكب على 20 مللتر ماء ويخزن في دورق زجاجي معتم.

الطريقة Procedure:

- يتم اخذ وزن اكثر عندما يكون تركيز النتروجين واطئ والعكس صحيح. فمثلاً تربة تحوي 0.01٪ نتروجين يؤخذ منها 10 غم وتربة تحوي 0.5٪ نتروجين يؤخذ منها 0.2 غم.يجب ان تمر من منخل ناعم 0.25 ملم.
- توضع عينة التربة في دورق ايرلنماير عريض الفوهة ويضاف 10 مللتر من محلول 1ع دايكرومات البوتاسيوم.
- يجانس الخليط ويضاف بسرعة 20 مللتر من حامض كبريتيك مركز بقمع من التفلون Teflon dispenser. يحرك المزيج لمدة دقيقة واحدة (حرارة التفاعل تقريباً 120 درجة مئوية).
- يوضع على صحن للتعرض للشمس insolating plate ودع الاكسدة تستمر لمدة نصف ساعة.
- اضف 200 مللتر ماء مقطر و10 مللتر حامض فسفوريك وتتم المجانسة.
- اضف 3 قطرات من الداي فنيل امين.
- سحح الزيادة من الدايكرومات مع 0.5 عياري من محلول الحديدوز (هذا المحلول يجب ان يحضر يومياً). نهاية التسحيح تلاحظ من خلال تغير اللون من الازرق الإرجواني purplish blue الى الأزرق المخضر المضيئ luminous greenish blue.
- التعبير عن النتائج:

Total organic C(g kg^{-1} of 105°C dried soil) =3.9 (10-0.5V)/P

والتي فيها P كتلة العينة بالغرام وV حجم الحديدوز عند تركيز 0.5 عياري وكمية محلول الدايكرومات 10 مللتر.

Total organic matter g kg^{-1} = total organic C × 1.724

الفحوصات الحيوية Biological tests:

وهذه تشمل تنفيذ تجارب مختبريه او في البيوت المغطاة او تجارب حقلية لدراسة مدى استجابة محصول معين للتسميد (المغذيات المضافة) ومن ثم معرفة النقص الموجود في التربة. وتعد هذه الوسيلة من اهم الوسائل المستخدمة لتقييم خصوبة التربة وهو تنفيذ تجارب في الحقل او البيوت الزجاجية او المغطاة بشكل عام او تجارب في الاصص(السنادين). ويتم في هذه التجارب اختبار مدى استجابة محصول معين لاضافة المغذي او المغذيات، وهي طريقة جيدة الا انها مكلفة وتأخذ وقت طويل.

بشكل عام القرار والتوصية السليمة تكون اذا ما استخدمت اكثر من طريقة او الطرائق كافة، اذ ان الهدف بالنسبة للمنتج او المزارع هو المحافظة على مستوى مغذيات يديم الانتاجية والربحية وهذا يعني ان لاتكون المغذيات محددة للنمو عند أي مدة من مدد النمو من الانبات الى النضج.

التجارب الحقلية Field experiments:

وهناك عدد من الخطوات التي من الممكن ان تتبع لتنفيذ هذه التجارب ومنها:

- اختيار التربة وتحديد الموقع في الحقل واخذ عينات تربة لغرض التحليل المختبري.
- تحضير الارض للزراعة من حراثة وتنعيم وتسوية.
- تقسيم الحقل الى الوحدات التجريبية المطلوبة حسب مخطط التجربة مع ضرورة ترك مسافات بين الوحدات التجريبية لضمان عدم انتقال الاسمدة.
- الزراعة واجراء كافة عمليات الادارة المطلوبة من تسميد وري وتعشيب ومكافحة وبالطرائق العلمية.
- يتم إضافة الاسمدة حسب المعاملات وحسب طرائق الاضافة المحددة وفي الاوقات المطلوبة.

- غالباً في هذه التجارب تكون المعاملات مقارنة (بدون إضافة) واضافة النتروجين والفسفور والبوتاسيوم بشكل منفرد وثنائي وثلاثي وملاحظة مدى الاستجابة لهذه الاضافة.
- اخذ قياسات للنمو والحاصل وتحليل النتائج احصائياً ومناقشتها.

تجارب الاصص Pot experiments:

يتم تحديد حجم الاصيص ومن ثم تحضر التربة المراد دراستها وتحضر بشكل جيد وتعبأ بالاصص وتراعي كافة الخطوات التي ذكرت اعلاه من زراعة وتسميد وادارة. وعلى الرغم من المحددات التي تلقى على تجارب الاصص الا انها يمكن ان تعطي دليلاً عن الاستجابة وهي سهلة السيطرة لاسيما في تجارب الطلبة.

المراجع:

- ابوضاحي، يوسف محمد 1989. تغذية النبات التطبيقي. كلية الزراعة – جامعة بغداد
- الصحاف، فاضل حسين 1989. تغذية النبات العملي. كلية الزراعة– جامعة بغداد
- عواد، كاظم مشحوت 1984. الاختبارات العملية للاسمدة وخصوبة التربة(1984)كلية الزراعة – جامعة البصرة.
- النعيمي، سعدالله نجم 1999. التسميد وخصوبة التربة. كلية الزراعة والغابات – جامعة الموصل.

- Haynes, R.J.1980 A comparison of two modified Kjeldahl digestion techniques for multi – element plant analysis with conventional wet digestion and dry ashing method. Communications in soil & plant analysis.11(5):459-467
- Page et al 1982 Methods of soil analysis.part2.Chemical properties. SSSA. Madison Wisconsin. 732pp.
- Pansu,M &J. Gautheyrou (2006) Handbook of Soil Analysis ,Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.993pp.

الملاحق



- ملحق 1 : مصطلحات و مفاهيم ذات علاقة بخصوبة التربة
- ملحق 2 : الوحدات العالمية SI Units
- ملحق 3 : المديات المختلفة لمستويات المغذيات الجاهزة للنبات وبعض القيم المهمة في ترب المناطق الجافة (ملغم كغم تربة-1)
- ملحق 4 : (التوصية السمادية)



ملحق (1)
مصطلحات و مفاهيم ذات علاقة بخصوبة التربة

قابل للتغير Labile: الحالة التي يكون فيها المغذي قابل للتغير من صورة إلى أخرى. بتعبير أخر ممكن ان يطلق على المغذي انه قابل للتجهيز. مثال ذلك جزء مهم من الفسفور في التربة يكون ضمن هذا الجزء ويكون جاهز للإمتصاص من قبل النباتات.

الاستهلاك الترفي Luxury Consumption: امتصاص النبات لمغذٍ معين بكمية اكبر او تتجاوز المطلوب او الحد المثالي ولكن هذه الكمية لاتكون سمية بحد ذاتها. ومثال على ذلك فأن النباتات تستطيع امتصاص كمية من البوتاسيوم اكبر من احتياجاتها بدون التأثير سلباً على إنتاجيتها.

المغذيات الكبرى Macro Nutrients: المغذيات الضرورية للنباتات التي تحتاجها بكميات كبيرة وتكون محتوياتها عالية في النباتات.

المغذيات الصغرى Micro Nutrients: المغذيات الضرورية للنباتات التي تحتاجها بكميات صغيرة وتكون محتوياتها واطئه في النباتات.

المغذيات الضئيلة Minor elements او النادرة Trace Elements او النزرة: تسمية قديمة للمغذيات الضرورية للنباتات التي تحتاجها بكميات صغيرة.

الترب العضوية Organic Soils: ترب تحوي على نسب من المواد العضوية تفوق الـ 20 ٪ – 30٪، لاسيما في الجزء من الترب المعروف" بالتربة الحقيقية solum" (الافق A + الافق B). وهنا تسمى الترب العضوية بترب البيت Peat Soils او المك Muck Soils إعتماداً على نسبة المادة العضوية في التربة ودرجة تحللها.

درجة تفاعل التربة (pH) او الاس الهيدروجيني: اللوغاريتم السالب لفعالية الهيدروجين:

$$pH = - \log(H)$$

تثبيت الفسفور P fixation: الحالة التي يصبح بها الفسفور قليل الجاهزية او محتجز في التربة. وهذه العملية تتأثر بدرجة تفاعل التربة.

تثبيت البوتاسيوم K fixation: عملية حجز البوتاسيوم في التركيب المعدني لبعض معادن الطين (الحجز بين الوحدات البنائية) وهذا النوع من البوتاسيوم يعد بطئ الجاهزية للنبات الا انه ممكن ان يتحرر تحت ظروف معينة. التثبيت يحدث في مواقع مخصصة او بحجم ايونات البوتاسيوم والعنصر الوحيد المشابه والمنافس له هو الامونيوم.

جزء بالمليون parts per million: ويمثل ملغم لكل كيلوغرام من المواد الصلبة او ملغم لكل لتر من السوائل.

جهد الريدوكس او جهد الأكسدة والاختزال Redox potential: مقياس لجهد الأكسدة والاختزال او مقياس لدرجة الاختزال ويعبر عنه بوحدات الملي فولت ويكون موجب في التربة جيدة التهوية وسالب في التربة رديئة التهوية(الغدقة) ويعبر عنه بـPe ، Eh ، pE

الرايزوسفير او منطقة المحيط الجذريRhizosphere: جزء التربة المحيط او القريب من الجذر (الملاصق) وفي هذا الجزء تتأثر فعالية الاحياء المجهرية بفعالية الجذور ونمو الجذور يتأثر بشكل كبير بوجود هذه الاحياء ونشاطها.

بطيء التحرر Slow release: مصطلح خصوبي له علاقة بالأسمدة ويصف معدل ذوبانية او تحرر او تحلل بطئ واقل بكثير من المركبات الذائبة بالماء بشكل جيد. ومعظم الأسمدة بطيئة التحرر اما تغلف بمواد تقلل من عملية دخول

الماء الى داخل السماد وبالتالي تقلل من سرعة تحلله وتحرره ومثال ذلك اليوريا المغلفة بالكبريت Sulfur coated urea (SCU) او ان السماد يحوي على مركبات تذوب ببطئ بالماء مثل الاسمدة المخلبية .

التربة Soil: مجموعة مواد طبيعية تشغل اجزاء من سطح الارض وتدعم نمو النبات وهي تعكس عمليات تكوين التربة (المناخ والطوبوغرافية والاحياء وفعل الانسان والمادة الام والزمن) او هي جسم طبيعي متطور يدعم نمو النبات يتكون من مفصولات الرمل والطين والغرين وله مواصفات فيزيائية وكيميائية وحيوية.

تهوية التربة Soil aeration: عملية التبادل الغازي بين هواء التربة والهواء الجوي وسرعة التهوية تعتمد على مسام التربة بشكل رئيس لاسيما حجم وانتظامية واستمرار المسام في التربة.

مصلح التربة Soil Amendment: اي مادة مثل الكلس او الجبسيوم او الكبريت او الاسمدة الحيوانية تضاف الى الترب لتحسين خواصها وجعلها اكثر انتاجية. وهناك تداخل بين مفهوم المصلح والسماد ومثال ذلك اضافة الكبريت الى الترب القاعدية سيخفض من درجة تفاعل التربة (pH) وبالتالي يحسن من خصوبتها وهو مصدر لعنصر الكبريت. والشيء نفسه مع المواد العضوية والتي هي مصلحات ومصادر سمادية.

ملوحة التربة Soil Salinity: كمية الاملاح الذائبة بالتربة وتقدر من خلال قياس الايصالية الكهربائية لمستخلص العجينة المشبعة او لمعلق تربة. وتقاس بوحدات دسي سيمنز م$^{-1}$ (dSm^{-1}) وهذه الوحدة تساوي الوحدة القديمة مليموز/سم او ملي سيمنز/سم.

محلول التربة Soil Solution: الطور السائل للتربة المتكون من مواد ذائبة بالماء.

غرويـات التربـة Soil Colloids :مـواد عضـوية او لاعضـوية ذات أحجـام صغيرة جداً وذات مساحة سطحية عالية لكل وحدة كتلة وبأقطار تقدر بأقل من المايكروميتر (10^{-6}متر) ولهذه الغرويات دور كبير في تفاعلات وجاهزية المغذياتفي التربة .

المعدن الأولي Primary Mineral: ذلك المعدن الذي لم يتغير كيميائياً منذ الترسيب والتبلور من الحالة السائلة.

المعدن الثانوي Secondary mineral: هو المعدن الذي تطور من معدن اولي آخر نتيجةً لتأثير عمليات وعوامل مختلفة

الادمصـاص او الامدصـاص Adsorption: جـذب الايونـات الى السـطح ويمثل ادمصاص الفوسفات على أسطح معادن الكربونات. وحالياً يستخدم المفهوم امتـزاز Sorption وهـو اشمـل مـن الادمصـاص لأنـه يشـمل الادمصـاص السـطحي Surface Adsorption او الفيزيـائي والادمصـاص النـوعي Specific Adsorption أي الكيميـائي الـذي يحـدث في الـداخل. وفي معجـم المصـطلحات الصادر عن المجمع العلمي العراقي تم استخدام كلمة امتزاز بدلاً من ادمصاص ليشمل المفهومين.

تثبيـت الامونيـوم Ammonium Fixation: امتـزاز الامونيـوم او تثبيتـه داخـل معـادن الطـين ويكـون نسـبياً غـير جـاهز بشـكل مباشـر للامتصـاص مـن قبـل النباتات.

النشــدرة Ammonification: عمليـة تحـول الـنتروجين العضـوي الى الامونيـوم وهـي عمليـة كيموحيويـة يتحـول مـن خلالهـا الـنتروجين العضـوي الى معدني بصيغة الامونيوم.

اللاهوائي Anaerobic: تفاعل يحدث بغياب الاوكسجين. وهناك الاحياء اللاهوائية التي تعيش بدون الاوكسجين.

نسبة التشبع القاعدي Base saturation: النسبة من معقد التبادل المشغول بالقواعد عدا الهيدروجين او الالمنيوم ويعبر عنها كنسبة مئوية من سعة تبادل الايونات الموجبة كما يأتي:

$$\text{نسبة التشبع القاعدي} = \frac{\text{مجموع الايونات القاعدية (الكالسيوم +المغنيسيوم + الصوديوم + البوتاسيوم)}}{\text{السعة التبادلية للايونات الموجبة(CEC)}} \times 100$$

نسبة الكربون إلى النتروجين C/N Ratio: نسبة وزن الكربون العضوي الى وزن النتروجين الكلي في تربة ما او مادة عضوية او سماد عضوي نباتي او حيواني. وهي دليل ومؤشر لمدى قابلية تحلل المادة العضوية في التربة. وهناك ارقام مقبولة مثل نسبة اقل من 20/1 تشير الى ان عملية المعدنة هي السائدة.

السعة التبادلية للايونات الموجبة Cation Exchange Capacity(CEC): الكمية القصوى من الايونات الموجبة التي تستطيع التربة المسك بها او امتزازها على الأسطح عن طريق التبادل بين ايون موجب وآخر.عادةً يعبر عنها بوحدات الملي مكافئ لكل 100 غرام تربة وحالياً يعبر عنها بألسنتي مول شحنة لكل كغم تربة $Cmol_cKg^{-1}soil$ والقيمة هي ذاتها في الحالتين.

المخلب Chelate:عبارة عن ارتباط بين ايون معدني ومركب او جزيئه طبيعية او مصنعة من خلال أواصر كيميائية متعددة.هذا النوع من التعقيد يقلل من تحلل الايون او بالأحرى يكون الايون محاط وبالتالي يقل ترسيبه ويبقى لمدة أطول بحالة جاهزة للامتصاص من قبل النبات. والكلمة مخلب تشير الى إحاطة للعنصر تحميه من الترسيب في التربة.

الانتشار Diffusion:حركة وانتشار الماء و المغذياتمن مناطق التركيز العالي الى مناطق التركيز الواطئ(مع انحدار التركيز)

البيئةEcology : العلم الذي يعنى بالعلاقات المتداخلة بين الاحياء وما يحيط بها.

البيدولوجي pedology : العلم الذي يدرس التربة في الحقل .

الايدافولوجي Edaphology: العلم الذي يدرس التربة على انها وسط لنمو النبات ويهتم بهكذا مواضيع.

السماد (Fertilizers(Fertilisers: أي مادة عضوية او لاعضوية طبيعية او مصنعة تضاف الى التربة من اجل تجهيزها بالمغذيات.

حامض الفولفيك Folvic acid :احد الأحماض العضوية الناتج من تحلل المواد العضوية، اذ ان المواد الدبالية تتكون من الأحماض الدبالية (الهيومية) والفولفيك والهيومين. يذوب في المحيطين القاعدي والحامضي.

التسميد الاخضر Green Manuring :عبارة عن قلب السماد(النبات الاخضر) في التربة وهو اخضر ويفضل ان يكون محصول بقولي ويقلب قبل مرحلة التزهير.

عملية التدبل Hummification: عملية تحث للمادة العضوية او الاسمدة العضوية وهي عملية تحلل بايولوجي ينتهي بتكون مادة غامقة تسمى الدبال ذات مواصفات تبادلية جيدة ونسبة كاربون الى نتروجين واطئة.

التحلل المائي Hydrolysis: عملية تحلل المركبات المضافة الى التربة كما هو الحال بالتحلل المائي لليوريا وتحولها الى الامونيوم وثنائي اوكسيد الكربون.

الهايدروكسي اباتايت Hydroxy Apatite: احد الصخور الفوسفاتية التي تعد المصدر الرئيس للأسمدة الفوسفاتية.

انتاجية السماد (Fertilizer productivity) او الكفاءة الحقلية Agronomic Efficiency كمية الزيادة في الحاصل للمعاملة المسمدة عن المقارنة نسبةً الى كمية السماد المضافة وكما في المعادلة الاتية وتقاس بوحدات كغم حاصل لكل كغم سماد مضاف:

$$\text{إنتاجية السماد} = \frac{\text{كمية الحاصل في المعاملة المسمدة} - \text{كمية الحاصل في المقارنة}}{\text{كمية السماد المضاف}}$$

كفاءة الاسترداد او استعمال العنصر المغذي او كفاءة الامتصاص او كفاءة استعمال السماد Fertilizer use efficiency: وتقدر كما في المعادلة الاتية:

$$\text{كفاءة استعمال السماد} = \frac{\text{كمية العنصر الممتص في المعاملة المسمدة} - \text{كمية العنصر الممتص في المقارنة}}{\text{كمية العنصر المضاف}} \times 100$$

التسميد الأساسي Base Fertilizer Application: إضافة السماد خلال مدة تحضير مهد البذور أي قبل البذار او الشتل لاسيما عند توافر الاسمدة المتوازنة مثل 20 – 20 – 20.

الكلوروفيل (اليخضور) Chlorophyll: التركيب المسؤول عن اللون الاخضر في النباتات.

الشحوب اليخضوري (الاصفرار) Chlorosis: فقدان اللون الاعتيادي للنبات دلالةً على عدم انتظام غذائي او فسيولوجي وعندما يكون سبب الحدوث هو

نتيجة المحتوى العالي من معادن الكاربونات يطلق عليه Lime induced Chlorosis.

الكومبوست (الدمان) Compost كومة من بقايا عضوية متحللة او مزيج من تربة ومواد عضوية وضعت بشكل كومة (تله) وسمح لكي تتحلل وعملية صنع الكومبوست يطلق عليها Composting.

عكس النترجة Denitrification: العملية التي تختزل بها النترات الى غازات النتروجين وتفقد الى الجو. وهي لاتعني عكس عملية النترجة وانما فقدان النتروجين بشكل غازات تحت الظروف الاختزالية.

المايكورايزا (الخيوط الفطرية) Myccorrhiza: نوع من الفطريات التي تعيش حياة تكافلية مع جذور النباتات وهي مفيدة جداً في مساعدة النباتات في امتصاص الفسفور.

تثبيت النتروجين الحيوي Nitrogen Fixation: التحول الحيوي للنتروجين الجوي (غاز النتروجين) الى نتروجين ومركبات نترو جينية تستفيد منها النباتات. وتحدث هذة العملية نتيجةً للتعايش بين بكتريا الرايزوبيا والنباتات البقولية او عن طريق حر لاتعايشي.

العناصر الغذائية Nutrients: العناصر التي تؤخذ من قبل النباتات او الكائنات الحية وتكون اساسية لنموها مثل النتروجين والبوتاسيوم والفسفور.

الافق العضوي O Horizon: طبقة مختلفة السمك تتكون من المواد العضوية تغطي سطح التربة. واحياناً هناك اكثر من طبقة بدرجات مختلفة من التحلل.

الزراعة العضوية Organic Farming: نظام زراعي متكامل يشترط عدم استخدام الاسمدة المصنعة او المبيدات او منظمات النمو او المواد المضافة الى الأغذية

على أساس ان المواد الطبيعة هي الأفضل. وهنا الاعتماد على الدورات الزراعية والاسمدة العضوية والحيوية....

الرايزوبيا Rhizobia: بكتريا قادرة على العيش بشكل تكافلي مع النباتات البقولية وهنا تستفيد البكتريا من الطاقة وتستفيد النباتات من النتروجين المثبت من قبل هذه البكتريا.

الفلحية Tilith: الظروف الفيزيائية للتربة لما له علاقة بسهولة الحراثة وملائمتها مهداً للبذار وعلاقتها ببزوغ البادرات وتغلغل الجذور.

ملحق (2)

الوحدات العالمية SI Units

نظام الوحدات المتعمل حالياً وعلى المستوى العالمي هو ما يسمى SI Units الا انه وعلى الرغم من ذلك هناك العديد من المراجع التي لاتزال تعتمد الوحدات القديمة ولذا سيتم التطرق الى بعض من هذه الوحدات وكيفية تحويلها الى الوحدات العالمية. ولتحويل الوحدات من العمود الاول الى العمود الثاني يتم ضرب الوحدات في العمود الاول بالعامل او القيمة الموجودة في العمود الثالث.

العمود الاول الوحدات القديمة	العمود الثاني الوحدات الحديثة SI Units	العمود الثالث عامل التحويل
طن/هكتار	ميكاغرام هـ$^{-1}$ ($Mg\ ha^{-1}$)	1.0
باوند/ايكر lb/acr	كغم هـ$^{-1}$ ($Kg\ ha^{-1}$)	1.12
طن متري	كغم	1000
طن انكليزي	كغم	1016
طن اميركي	كغم	907
قنطار	كغم	100
جزء بالمليون ppm	مايكروغرام غم$^{-1}$ ($\mu g\ g^{-1}$)	1.0
	ملغم لتر$^{-1}$ ($mg\ L^{-1}$)	1.0
الاونس (الاوقية)	غم	28.35
اونس/ايكر	غم. هـ$^{-1}$	71
مائة وزن (انكليزي)	كغم	50.8
مائة وزن(اميركي)	كغم	45.36
٪ تركيز في النبات	ملغم غم$^{-1}$	10
لتر L	م^{3}	0.001
غم/سم^{3}(وحدة الكثافة)	ميكاغرام.م$^{-3}$ ($Mg\ m^{-3}$)	1.0

العمود الاول الوحدات القديمة	العمود الثاني الوحدات الحديثة SI Units	العمود الثالث عامل التحويل
اونس/ ايكر	غم هـ$^{-1}$	71
مليمكافئ/100غم تربة	سنتي مول شحنة. كغم$^{-1}$ $Cmol_cKg^{-1}Soil$	1.0
ملي موز /سم او ملي سيمنز/سم	دسي سيمنزم$^{-1}$ (dSm^{-1})	1.0
بارBar	كيلو باسكالKp	100
الانكسترومA^0	متر	1×10^{-10}
	نانومترnm	0.1
الايكرacre	متر مربع	4046.85
الفدان المصري. fed	متر مربع	4200
الهكتار.ha	مترمربع	10000
الدونم العراقي (مشارة)	متر مربع	2500
الدونم السوري والاردني	متر مربع	1000

ملحق (3)

المديات المختلفة لمستويات المغذيات الجاهزة للنبات وبعض القيم المهمة في ترب المناطق الجافة (ملغم كغم تربة$^{-1}$)

العنصر المغذي	الطريقة والمستخلص	مستوى التركيز				
		منخفض جداً	منخفض	متوسط	عالي	عالي جداً
النترات	مايكرو كلدال	10-0	20-10	40-20	60-40	60<
الفسفور	اولسن البيكاربونات	7-0	15-7	30-15	50-30	50<
البوتاسيوم	خلات الامونيوم	85-0	170-85	300-170	500-300	500<
الكالسيوم	خلات الامونيوم	500-0	1200-500	2500-1200	3500-2500	3500<
المغنيسيوم	خلات الامونيوم	85-0	200-85	300-200	500-300	500<
الكبريت	مستخلص بالماء	10-0	20-10	35-20	50-35	50<
الحديد	مستخلص DTPA	2-0	4-2	6-4	10-6	10<
الزنك	مستخلص DTPA	0.5-0	1.5-0.5	4-1.5	6-4	6<
المنغنيز	مستخلص DTPA	0.5-0	2-0.5	5-2	10-5	10<
النحاس	مستخلص DTPA	0.1-0	0.3-0.1	0.8-0.3	3.0-0.8	3<
البورون	مستخلص DTPA	0.5-0	1.0-0.5	2-1	4-2	4<
الموليبدنيوم	مستخلص DTPA	-	0.1-0	2-0.1	5-2	*10-5<
كاربونات الكالسيوم٪	التعادل بالحامض	-	10-5	15-5	25-15	25<

❖عند مستوى اعلى من 10ملغم بورون كغم$^{-1}$ يصل محتوى البورون مستوى السمية

❖❖ملوحة التربة مقدرة بالدسي سيمينزم$^{-1}$:

0-4 لامخاطر، 4-6 مخاطر قليلة، 6-8 مخاطر متوسطة، 8-10مخاطر عالية اعلى من 10 مخاطر عالية جداً.

المصدر: محور عن دليل استخدام الاسمدة في الشرق الادنى FAO 2007

ملحق 4

(التوصية السمادية)

على الرغم من كل الجهود التي بذلت في هذا المجال الا انه ولحد الان لا توجد توصية سمادية موحدة ومعتمدة في القطاع الزراعي ومع هذا هناك بعض المديات العامة التي من الممكن ان تكون دليلاً عاماً.

المحصول	التوصية السمادية			الملاحظات
	N	P_2O_5	K_2O	
الحنطة(القمح) Wheat t (Triticum spp.)	150	100–80	100	يضاف السماد الفوسفاتي والبوتاسي ونصف السماد النتروجيني عند الزراعة والنصف الثاني من السماد النتروجيتي بعد شهر ونصف من الزراعة.
الشعير Barley (Hordium vulgare)	100	100	40	يضاف السماد الفوسفاتي والبوتاسي ونصف السماد النتروجيني عند الزراعة والنصف الثاني من السماد النتروجيتي بعد شهر ونصف من الزراعة.
الرز Rice (Oryza sativa)	140	60	40	تضاف اليوريا على ثلاث دفع عند الزراعة والتفرعات والتزهير
الذرة الصفراء Corn (maize) (Zea mays)	320	200–100	150–100	يضاف السماد الفوسفاتي والبوتاسي ونصف السماد النتروجيني عند الزراعة والنصف الثاني من السماد النتروجيتي بعد شهر ونصف من الزراعة.
الذرة البيضاء Sorghum (Sorghum bicolor)	320	200	100	يضاف السماد الفوسفاتي والبوتاسي ونصف السماد النتروجيني عند الزراعة والنصف الثاني من السماد النتروجيتي بعد شهر ونصف من الزراعة.
زهرة الشمس Sun flower (Helianthus annuus)	160	80	80	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وعند تكون الاقراص

المحصول	التوصية السمادية			الملاحظات
	N	P_2O_5	K_2O	
فول الصويا soya bean (Glycine max)	160–40	160	40	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وقبل تكوين القرنات.المستويات الواطئة مع التلقيح.
فستق الحقل Ground nut (Arachis hypogaea)	40	120	50–30	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد ستة اسابيع
القطن Cotton (Gossypium hirsutum)	180–100	150–50	100–60	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد ستة اسابيع
البنجر السكري sugar beet (Beta vulgaris)	150–80	120–80	120–80	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد مرحلة 4–6 اوراق
الباقلاء Broad bean (Vicia faba)	100	120	40	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد 40 يوم من الزراعة
الحمص Chick peas (Lentil spp.)	40	80	40	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد 40 يوم من الزراعة
العدس Lentil (Lens esculenta)	40	80	40	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد 40 يوم من الزراعة
الجت Alfalfa(Lucerne) (Medicago sativa)	60–40	100–80	100–40	تضاف اليوريا على ثلاث دفع عند الزراعة وبعد الحشة الاولى والثانية
الجزر Carrots (Daucus spp.)	120	120	40	تضاف اليوريا على ثلاث دفع عند الزراعة وبعد خف النباتات وبعد شهر من الدفعة الثانية
البصل Onion (Allium cepa)	250–120	120	120	تضاف اليوريا على دفعتين بعد 3–4 يوم وبعد 40 يوم من الزراعة
اللهانة Cabbage (Brassica oleracea)	150–100	150–120	150–120	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وعند التفاف الرؤوس
البطاطا Potato (Solanum tuberosum)	300	300	400–300	النتروجين فالبوتاسيوم على دفعتين عند الزراعة وبعد 45 يوم وممكن ان تقسم الكمية الى عشرة دفعات مع الرسمدة.
الرقي Watermelon (Cirullus vulgaris)	120	160	100–40	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وقبل التزهير

المحصول	التوصية السمادية			الملاحظات
	N	P_2O_5	K_2O	
Pepper الفلفل (Capsicum spp.)	170–100	160	120–60	تضاف اليوريا على دفعتين بعد 2–3 اسبوع وقبل التزهير(هذه للزراعة المكشوفة اما المغطاة فتستهلك اضعاف هذه الكميات)
Tomato الطماطة (Lycopersicon esculentum)	120	160	120	تضاف اليوريا على دفعتين بعد 2–3 اسبوع وقبل التزهير(هذه للزراعة المكشوفة .
الطماطة(زراعة محمية)	800–600	300	300	تضاف اليوريا على والبوتاسيوم على دفعات تصل الى عشر دفعات لاسيما عند استعمال الرسمدة مع الري بالتنقيط.
Pea البزاليا (Pisum sativum)	60	150–100	200–100	تضاف اليوريا على دفعتين عند الزراعة وبعد 30 يوم من الزراعة
Cucumber الخيار (Cucumis sativus .L)	100	100	200	بالنسبة للخيار المكشوف والانتاجية جيدة اما المغطاة فتستهلك اضعاف هذه الكميات

ملاحظة: التوصيات اعلاه كماجاءت في عدد من المراجع المحلية والعالمية، الا ان هذه الكميات يجب ان تدقق مع تحليل التربة (بالنسبة للبوتاسيوم والفسفور) وطريقة الاضافة وتجزئة الاضافة لاسيما مع الزراعة المحمية والاصناف عالية الانتاج.